

PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO PARA O CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE EM UMA ESTUFA DE SECAGEM DE MADEIRA

Maysa Lopes Fernandes (UFOPA) E-mail: maysafernandes@hotmail.com
Larissa Arias Figueiredo Braga (UFOPA) E-mail larissa.arias88@gmail.com
Gilson Fernandes Braga Junior (UFOPA) E-mail: gilson.braga@ufopa.edu.br

Resumo: A secagem é considerada uma das fases mais importantes no processo de agregação de valor da madeira, e possui elevado custo dentro da indústria de transformação. Neste processo, as variações de umidade e temperatura, caso não controladas no interior da estufa, provocam danos físicos na madeira, tais como rachaduras, manchas, empenamentos e outros. Portanto, neste artigo são analisadas as informações coletadas durante o processo de secagem em indústria madeireira localizada no município de Santarém - Pará, para o desenvolvimento de uma proposta de sistema automático utilizando controlador lógico programável afim de aprimorar o sistema de secagem. São apresentadas propostas de controle de temperatura através de acionamento de uma portinhola conectada a uma fornalha, e acionamento de aspersores para controle de umidade, baseado em uma ação de controle Liga-Desliga, através da simulação do sistema no software CadeSIMU. Espera-se, que a adoção deste sistema possa contribuir para a melhoria do processo, reduzindo custos de operação, visto que o atualmente o sistema é operado de forma manual.

Palavras-chave: Secagem, Madeira, Controlador lógico programável, Automação.

AUTOMATION SCHEME TO CONTROL TEMPERATURE AND HUMIDITY IN A WOOD GREENHOUSE DRYER

Abstract: Wood drying is a paramount phase in aggregating value to wood, and has a high cost in the transformation industry. In this process, humidity and temperature variations, if not controlled inside the greenhouse, can cause physical damage to the wood, such as cracks, stains and warps. Therefore, in this paper information collected during a drying process at a wood factory in Santarém-Pará, for the development of an automation scheme using programmable logic controller to enhance drying system. The proposed temperature control is performed by actuating a hatch that is connect to a oven, and the humidity control by actuating a water sprinkler, based on ON-OFF control action, through the simulation of the system at the CadeSIMU software. It is expected that the adoption of this system can contribute to the enhancement of this process, reducing operation costs, since the current system is operated manually.

Keywords: Drying, Wood, Programmable Logic Controller, Automation.

1. Introdução

A secagem da madeira serrada, processo de transmissão de calor do ar para a madeira, é considerada uma das fases mais importantes no processo de agregação de seu valor. Neste processo, são reduzidas a massa e a anisotropia de contração (característica em que suas propriedades físicas serão diferentes conforme a variação dimensional da madeira em função da troca de umidade do material com o meio), a resistência aos organismos xilófagos (que se alimentam da madeira) é elevada, além das propriedades mecânicas serem melhoradas. O alto custo deste processo dentro da indústria de transformação justifica o investimento em processos de secagem de forma eficaz.

(FRANÇA, 2011).

A secagem da madeira é a remoção da umidade e se divide basicamente em duas fases sendo a primeira a remoção da água superficial e a segunda a movimentação da água do interior da madeira até a superfície (ALMEIDA, 2011). As condições externas do ambiente controlam a evaporação superficial enquanto que as propriedades da madeira, como a permeabilidade e a massa específica, que determinam o teor de umidade do interior das peças (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

O processo de secagem ocorre basicamente por convecção, quando uma corrente de ar passa pela superfície da madeira transportando a energia (calor) responsável por promover a vaporização da água existente transferindo-a para a corrente de ar. Ao mesmo tempo, a energia recebida provocará um aumento da temperatura que irá se deslocar da superfície para o centro da peça, por condução, que conseqüentemente gerará um gradiente de umidade que irá movimentar a água do interior para a superfície. Por fim, madeira é considerada seca quando apresenta algumas características, tais como, o teor de umidade estar compatível com o uso pretendido e com um mínimo de variação dentro de cada peça individualmente e também entre todas as peças, e estar livre de tensões de secagem e de defeitos visíveis como rachaduras, empenamentos, colapso e manchas (JAWKOWSKY, 1995).

Desta forma, neste artigo será apresentada uma proposta de automação baseada em CLP (Controlador Lógico Programável) para substituir a operação manual de uma estufa de secagem de madeira em uma madeireira localizada em Santarém-PA, partindo de uma visita técnica para avaliar os dispositivos e a estrutura do local, e realização do acompanhamento de um ciclo do programa de secagem durante 5 dias, realizando a medição de temperaturas de diferentes sensores, e levantamento dos problemas no processo atual, reduzindo as possíveis falhas e mantendo a temperatura e umidade estipuladas para o processo o mais próximo possível de seu objetivo.

2. Descrição do Processo de Secagem na empresa

Foi realizada uma visita em uma empresa beneficiadora de madeira, que trabalha na fabricação de portas e janelas, afim de realizar uma observação do processo de secagem e para averiguar os pontos que poderiam ser melhorados através da automação.

Foram identificadas quatro estufas de secagem na empresa (Figura 1 a)), as quais possuem fornalhas à lenha (Figura 1 b)) que é alimentada por operadores. O calor gerado no interior das fornalhas é levado para o interior da estufa através de um exaustor através de um duto, que se mantém normalmente aberto. A umidade relativa dentro da secadora é inferida através de sensor de bulbo seco/bulbo úmido (TBS/TBU), a temperatura através de sensor de bulbo seco e interpretada por de leitores analógicos, e a umidade específica na madeira é realizada através de um sistema de aquisição digital. As informações dos sensores são anotadas diariamente em tabelas até chegar as especificações necessárias. O controle de temperatura e umidade é feito a partir de tabelas prontas (programas de secagem) de umidade e temperatura específicas para cada tipo de madeira, controladas pelo operador e engenheiro encarregados pela secagem.



Figura 1 a) Uma das quatro estufas de secagem da empresa. b) Fornalha à lenha das estufas.

Um diagrama de uma estufa de secagem com fornalha a lenha da empresa pode ser visualizado na Figura 2.

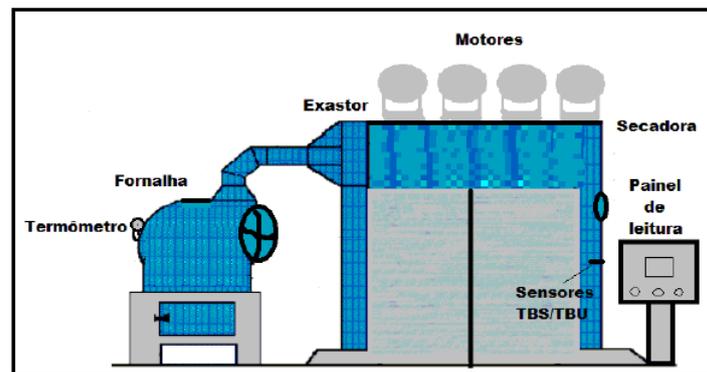


Figura 2 a) Uma das quatro estufas de secagem da empresa. b) Fornalha à lenha das estufas.

Existem quatro ventiladores com motores de potência de 10Hp que forçam a circulação do ar dentro da estufa, são cada instalados na parte superior da secadora em um teto falso. De duas em duas horas a direção dos ventiladores é trocada para que o ar circule e seque os dois lados da madeira. Em cada secador existe também dois exaustores ligados quando necessário para a retirada da umidade.

A unidade para seguir as tabelas do programa de secagem também é controlada a partir da inclusão de água no processo, despejada por uma tubulação dentro da estufa em caso da temperatura se elevar e a umidade ambiente cair, o que poderá interferir na secagem da madeira. Na estufa de controle TBS e TBU, o banho é feito com água fria, e nas demais o banho, é feito com água quente. As turbinas de ventilação internas foram instaladas no fundo da estufa, e não na parte superior (teto falso), o que prejudica na circulação de ar e conseqüentemente na distribuição de calor dentro da secadora na parte da frente. Pode-se visualizar na Figura 3 os sensores de bulbo seco/bulbo úmido presentes no interior de uma das estufas.



Figura 3 – Medição de umidade através de sensor de bulbo seco/bulbo úmido no interior de uma das estufas de secagem.

A empresa usa um programa de secagem (Tabela 1) que é utilizado para o controle da umidade relativa (UR), da umidade específica (UE) e o potencial de secagem (PS). Este sistema é feito especificamente para o tipo de madeira a ser processado. Há o indicativo de dias, TBS/TBU, temperatura e umidade requerida para cada espécie que deve ser seguido durante o processo.

Tabela 1 – Tabela da empresa para controle de secagem de Maçaranduba.

| Umidade da Madeira % | TBS °C | TBU °C | UR% | UE% | PS% |
|----------------------|--------|--------|-----|------|-----|
| Até 50 | 40 | 39 | 94 | 20,7 | 2,2 |
| Até 35 | 40 | 38 | 90 | 18,3 | 1,7 |
| 30 | 40 | 37 | 82 | 17,6 | 1,7 |
| 25 | 44 | 40 | 78 | 14,7 | 1,7 |
| 20 | 48 | 43 | 75 | 11,8 | 1,7 |
| 15 | 52 | 44 | 62 | 8,8 | 1,7 |
| 10 | 56 | 40 | 38 | 5,9 | 1,7 |
| 5 | 56 | 30 | 14 | 2,9 | 1,7 |
| Uniformização | 56 | 51 | 76 | 12,8 | - |

Após uma visita preliminar na empresa para verificar as instalações e dispositivos envolvidos no processo de secagem, iniciou-se o acompanhamento de um processo de secagem.

3. Acompanhamento de um processo de secagem

Foi realizado um acompanhamento durante cinco dias em uma das estufas, a que possui leitura de TBS e TBU (estufa 2). Foram coletadas as temperaturas da fornalha, a temperatura na estufa e as temperaturas de bulbo seco (TBS) e bulbo úmido (TBU) da estufa desde a hora que a fornalha foi acionada até o período em que as temperaturas se estabilizam nos padrões requeridos, durando 5 horas de coleta em intervalos de 20 minutos, devido à variação de temperatura ser lenta por conta das dimensões da estufa.

Na estufa analisada, haviam duas espécies de madeira, sendo 32 pacotes de madeira

Maçaranduba e 02 pacotes de madeira Garapa, ambos medindo 32x155cm. O controle de temperatura foi feito tomando como referência a espécie em maior quantidade. A temperatura indicada para se manter durante a secagem era de 40°C de Bulbo Seco e 38°C de Bulbo Úmido nos primeiros dias. A umidade requerida para a madeira sair da estufa era de uma porcentagem de +-56% e Umidade Específica por volta de 15%, o que duraria cerca de 15 a 21 dias, visto que entrou com uma porcentagem específica média de 78,4%. A quantidade de dias vai depender muito do pedido e para onde a madeira vai ser enviada.

Nos dias 03, 04 e 05 os pontos requeridos para a secagem, seguindo a tabela do programa de secagem, foram de 40°C TBS e 38°C TBU. Nos dias 06, 07 e 08 os pontos mudaram para 42°C TBS e 39°C TBU, devido ao tempo em que a madeira estava na estufa. Nos demais dias a temperatura foi elevada, de acordo com o programa de secagem, até chegar no ponto requerido para saída onde a umidade específica chegaria a 15%..

Os gráficos da Figura 4 apresentam a variação da temperatura nos cinco dias de observação. Na coluna da esquerda está a escala e leitura de temperatura de TBS, TBU e da estufa e na coluna da direita está a escala e leitura da temperatura da fornalha, ambas em graus Celsius.

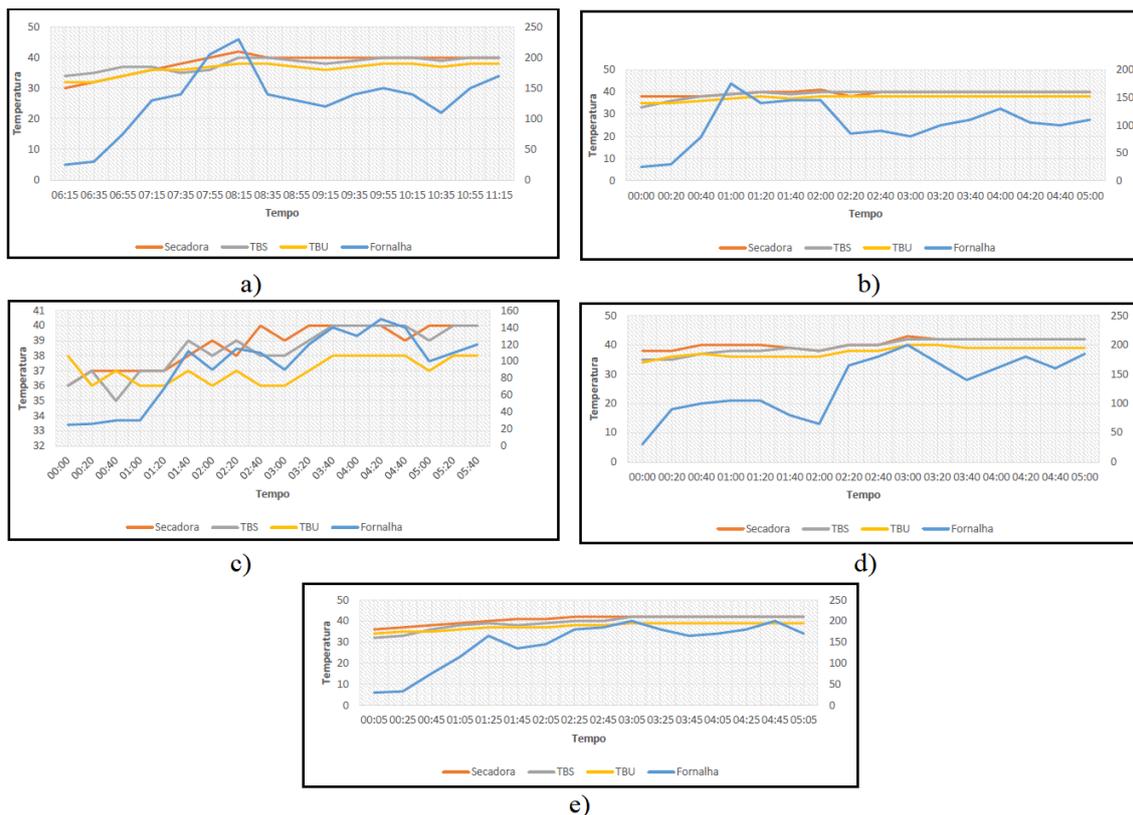


Figura 4 – Medições de temperatura realizadas por inspeção visual nos medidores de uma estufa, entre os 5 dias, em ordem de a), primeiro dia, a d), quinto dia.

No primeiro dia de observação (Figura 4 a)), uma segunda-feira, a temperatura inicial era de 30° C dentro da secadora, haja visto que essa foi ligada uma semana antes e desligada no sábado anterior às 18h. Após ligado exaustor e aceso o fogo da fornalha, as 06:15h, a temperatura foi crescendo à medida que o forno era alimentado. No ponto as 07:35 observa-

se que a temperatura (TBS) diminuiu e estava abaixo do requerido no programa, foi quando o operador alimentou a fornalha com lenha afim de elevar a temperatura na secadora. A temperatura atingiu o ponto desejado depois de 2h ligada e se estabilizou a partir de então seguindo as especificações da tabela do programa de secagem para a madeira em questão.

No segundo dia (Figura 4 b)), a fornalha e o exaustor foram ligados as 00h, sendo que os mesmos foram desligados as 18h do dia anterior. Assim, passaram 6h desligados, então a temperatura se manteve um pouco mais alta que do início do dia anterior. A temperatura e umidade desejadas, alcançaram seu ponto depois de 1h30min e se estabilizaram após 2h. Podemos perceber também um possível erro de leitura quando o sensor de bulbo úmido ultrapassa o de bulbo seco.

No terceiro dia, (Figura 4 c)), a secadora foi ativada as 00h40min, e mantinha uma temperatura de 36°C. Os pontos requeridos foram alcançados após 4h ligadas, a fornalha e o exaustor, haja visto que o operador realizava uma alimentação mais lenta e a lenha estava úmida.

No quarto dia (Figura 4 d)), a secadora estava com uma temperatura 38° no momento em que foi acionada às 00h, com o intervalo de 6h em que foi desligada no dia anterior. A alimentação foi feita de forma mais intensa pois o ponto em que se desejava chegar havia aumentando em cada sensor para chegar a umidade final. O instante desejado (TBS: 42°C e TBU: 39°C) se deu após 3h30min de funcionamento e se estabilizou a seguir.

No último dia de observação (Figura 4 e), uma sexta-feira, os equipamentos foram ligados as 00h05min, a secadora estava com 36°C e a alimentação foi intensificada para se chegar a temperatura e umidade necessárias para manter a secagem da maçaranduba ideal. A estabilidade se deu após 5h de secagem.

A partir dos dados coletados durante 5 dias podemos perceber que para a estufa atingir os pontos designados na Tabela 1 em média eram necessárias 2h; e que a secadora se estabilizava após 5h em que a fornalha e o exaustor estavam ligados. Isto tudo dependendo de como a fornalha estava sendo alimentada pelo operador e também a qualidade e condição da lenha inserida.

Quando se necessitava de mais umidade, ou seja, quando a temperatura aumentava muito devido ao grande fluxo de calor que adentrava na estufa, era acionado uma tubulação que despejava água dentro da secadora afim de umidificar o ambiente e manter os pontos de leitura de acordo com a tabela de secagem, e também quando a temperatura estava muito alta, eram abertos dois pequenos exaustores auxiliares na estufa que inseriam na estufa ar frio do ambiente. Esse controle era feito a partir da observação do operador nas leituras apresentadas no mostrador analógico do instrumento.

Podemos verificar que as leituras seguem as especificações do programa e alcançam os pontos requeridos, porém existem erros de medição, o principal sendo o sensor de TBU apresentando valor superior ao sensor de TBS e se tratando de um sistema que requer um controle preciso, pois variações podem afetar no produto final, além do controle manual estar sujeito a erros de operadores humanos.

4. Proposta de sistema automático para o processo

A sugestão para controlar de forma automática o fornecimento de calor para a estufa de secagem consistiu na proposta de instalação de uma portinhola no duto conectado ao exaustor (como por exemplo na Figura 5), sendo a ação de abertura e fechamento controlada por um atuador elétrico linear acionado por um controlador lógico

programável, dependendo da temperatura no interior da estufa.

Como elemento sensor de para medição da temperatura relativa da secadora que mais se adequa às especificações, além de ser uma opção de fácil acesso pois é a mais utilizada pelas empresas em suas aplicações, é o sensor termopar tipo J, que tem a faixa de temperatura que varia de 20°C a 700°C (SCHNEIDER, 2000), faixa mais próxima a utilizada no processo de secagem da empresa (0°C a 200°C) .



Figura 5 – a) Portinhola para controle do fluxo de ar (DELFIN et al.,2016).b) Atuador elétrico linear (MECTROL, 2019).

O controle da umidade se daria pelo acionamento da bomba hidráulica, já existente no processo, para liberação de água por aspersores dentro da estufa aumentando assim a umidade na secadora quando necessário.

Foi desenvolvido uma simulação do sistema automático no software CadeSimu (Anexo A), o qual possui um modelo de CLP da marca Logo da Siemens, o qual possui 8 entradas digitais e 4 saídas a relé, conforme visto na Figura 6. As entradas digitais I1 e I2 são acionadas por meio de um botão interruptor normalmente aberto, e as entradas I3 e I4, para simulação, foram conectadas a dois sensores indutivos que tem a função de representar o acionamento de sensores de umidade e temperatura (ST e SU na Figura 6) ao atingirem os valores desejados.

As saídas a relé são conectadas à sinaleiros L1 a L4 e através do programa em Ladder são feitos os acionamentos dos contatores que acionam o motor de um dos ventiladores, do exaustor, da portinhola e da bomba dos aspersores, conforme pode ser visto na Figura 7 a), a qual apresenta os circuitos de potência dos dispositivos. Foi escolhido acionamento por partida direta com opção de reversão para o motor do ventilador e do atuador, visto que a portinhola será aberta e fechada por meio de atuador linear elétrico e o as pás do ventilador podem ter reversão no seu sentido de giro. Para os aspersores e exaustor a partida escolhida foi direta sem reversão.

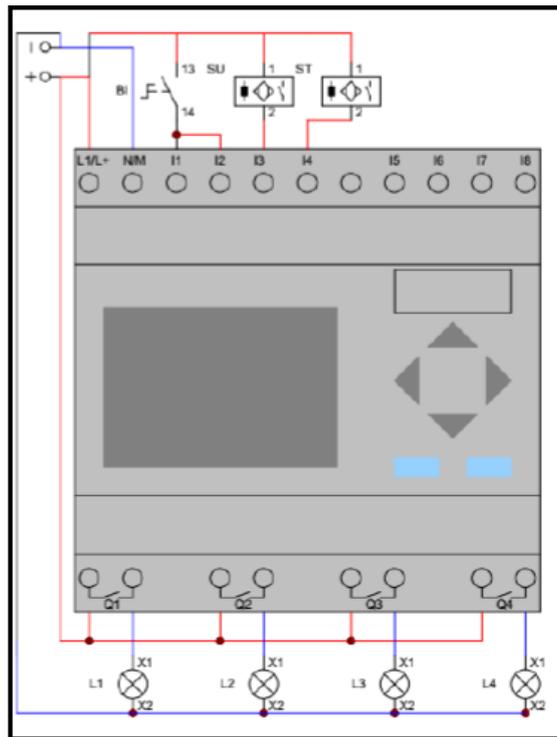


Figura 6 – CLP Simens LOGO representado no software de simulação CadeSimu, com as respectivas conexões de entradas e saídas.

Na Figura 7 b), é apresentado um circuito de comando simples para comandar o atuador linear (que é acionado pelas bobinas dos contatores K4 e K5, dependendo da ação para abertura ou fechamento), e os contatos KA e K6 são contatos auxiliares que, ao sistema apresentar temperatura abaixo do requerido, se mantém fechados acionando o contato K5 abrindo a portinhola. Caso a temperatura alcance o valor desejado, então é acionado o contato de entrada em I4 no CLP, que aciona o atuador a fechar a portinhola e bloqueia o acionamento da bobina K5.

Pode-se visualizar a programação em Ladder do CLP simulado na Figura 8. Neste programa, inicia-se com o acionamento do interruptor conectado às entradas físicas de I1 e I2 do CLP, que no programa são relacionados aos contatos normalmente abertos I1 e I2 que acionam as saídas a relé Q1 e Q2 e os contatos K1 e K2 das contatores do diagrama de potência. A primeira etapa do programa consiste no acionamento do exaustor através do contato K1 acionado pela entrada I1 e em seguida pelo acionamento ou não da bomba do sistema aspersor pelo contato I3 de entrada e Q3 da saída a relé e bobina do contator K3.

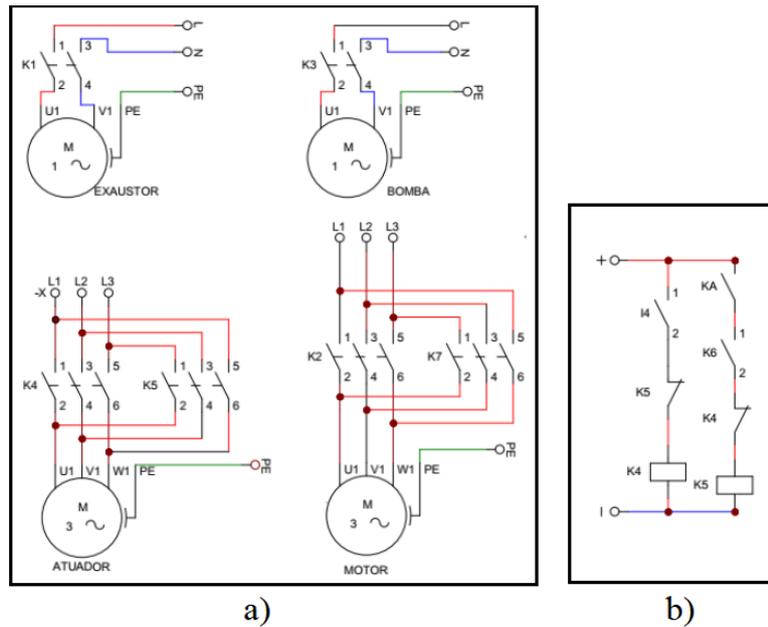


Figura 7 a) Circuitos de potência para o exaustor, bomba do sistema de aspersão, atuador linear e motor do ventilador. b) Comando elétrico para o acionamento do atuador linear.

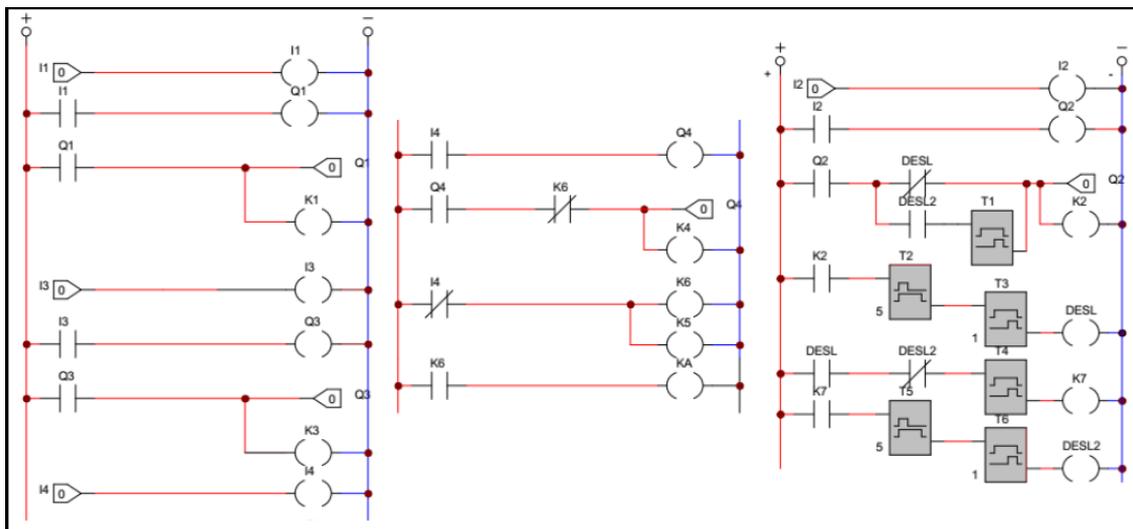


Figura 8 – Programa em Ladder do CLP simulado.

Então, verifica-se o estado da entrada I4 que representa a entrada do sensor de temperatura. Caso I4 mantenha-se no estado desligado, são acionados os contatos K5, K6 e KA, abrindo a portinhola. Caso a entrada I4 assuma o estado ligado, estes contatos são abertos e aciona-se o contato K4, realizando o fechamento da portinhola. A entrada I2 controla o sentido de funcionamento do motor do ventilador da estufa, sendo que no programa tem-se os temporizadores T1, T3, T4 e T6 com retardo na energização e T2 e T5 com retardos na desenergização, realizam o acionamento intermitente do motor do

ventilador, sendo os contatos de saída de memória DESL e DESL2 servindo para impedir, via software, o acionamento ao mesmo tempo das bobinas K2 e K7, que determinam o sentido de rotação do ventilador.

Através da simulação do CLP no software CadSIMU pode-se obter uma estimativa do comportamento do sistema automático proposto, porém ressalta-se que este projeto abrange apenas uma das estufas de secagem de madeira, sendo que a escolha dos sensores para emular as entradas de umidade e temperatura deu-se pelas limitações do programa, e na prática precisariam ser escolhidos sensores digitais por conta das especificações do modelo do CLP utilizado neste projeto. Apesar disto, foi possível representar através da simulação o controle do tipo liga-desliga automático, sendo capaz de substituir o operador humano, o qual seria responsável apenas por alimentar a fornalha, e futuramente poderá também ser proposto, junto ao CLP, a implantação de um software de supervisão, para acompanhamento do processo à distância.

5. Considerações Finais

Os programas de secagem são utilizados para a temperatura não permanecer constante, por um tempo além do necessário, pois a evaporação pode diminuir e em consequência causar prejuízos ao material. Ao ser observado o processo realizado em uma madeireira e serem entendidas as suas especificidades pode-se chegar a uma análise para melhoramento deste sistema com a intervenção de controle automático em substituição do controle manual realizado em algumas etapas. Através da observação *in loco* podemos chegar a dados que nos mostraram que o trabalho manual sujeita-se a variantes que dependem da objetividade e atenção do operador.

A proposta de automação sugerida é uma importante ferramenta que poderá melhorar a qualidade e o tempo do serviço oferecido pela empresa, caso implementado. Porém, todo investimento possui um custo e, ao ser apresentada a proposta para a empresa, esta apresentou interesse de implementação futura, após realizar melhoramentos prévios e reorganização da produção, necessários para que se possam fazer novos investimentos na automação do processo.

Por conta disto, futuramente poderão ser cotados os equipamentos a serem utilizados e o projeto poderá ser adaptado de acordo com as aquisições e novas especificações que possam surgir neste período. Sugere-se também futuramente verificar a calibração dos equipamentos instalados; obter um levantamento de custos e então realizar um estudo para verificar se o processo está mais eficaz e se o tempo de operação foi reduzido.

Pode-se realizar também um estudo termodinâmico e verificar o desenvolvimento da secagem identificando as principais falhas afim de procurar as formas mais adequadas de melhoramento para o sistema, como um melhor posicionamento das pilhas, ou dos ventiladores que forcem a circulação de ar, bem como a inserção de água nos locais e momentos mais precisos.

Referências

ALMEIDA, B. C. *Contribuição para melhoria do processo de secagem convencional de madeiras*

serradas na Região Norte do Estado de Mato Grosso. Dissertação de mestrado. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná, 2011.

DELFIN, A. F. R., LIMA II, E. J., MAIA, A. A. T., CARVALHO, R. M. A., LOSCHI, F. *Desenvolvimento e Implementação de um Sistema De Automação Para Controle De Temperatura em Secadores de Café a Lenha*. CBA2016, UFES. Vitória – ES: 2016.

FRANCA, F. J. N. *Modelagem da transferência de calor na madeira Pinus sp.* Espírito Santo: UFES, 2011.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

JANKOWSKY, I. P. *Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria Equipamento e Processos para Secagem de Madeira*. 1995. Disponível em <http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/> Acesso em 20 de Outubro de 2018.

MECTROL. Atuador Linear. Disponível em <<http://www.mectrol.com.br/mectrol/pt/produto/visualizar/codproduto/33/atuador-linear-serie-las-12.html>> Acesso em 08 de Abril de 2019.

SCHNEIDER, P. S. *Termometria e Psicometria*. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

ANEXO A – Circuito desenvolvido no software CadeSIMU

