

UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO EM UMA MÁQUINA DE
CASQUINHAS DE SORVETE**

HIGOR MARQUES CALDEIRA

MARINGÁ – PR

2021

Higor Marques Caldeira

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO EM UMA MÁQUINA DE
CASQUINHAS DE SORVETE**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Prof. Me. Murillo Vilela Magan.

MARINGÁ – PR

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO
HIGOR MARQUES CALDEIRA

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO EM UMA MÁQUINA DE
CASQUINHAS DE SORVETE

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Prof. Me. Murillo Vilela Magan.

Aprovado em: 18 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Murillo Vilela Magan – Orientador, UNICESUMAR

Prof. Me. Fernando Rodrigo Moro – UNICESUMAR

Prof. Me. Igor Henrique do Nascimento Oliveira – UNICESUMAR

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE AUTOMAÇÃO EM UMA MÁQUINA DE CASQUINHAS DE SORVETE

Higor Marques Caldeira

RESUMO

Propõe-se, por meio das aplicações de automação, a viabilização comercial de uma máquina de casquinhas de sorvete construída em caráter local. A máquina utilizada foi alterada, aplicando princípios de automação, buscando melhorias como facilidade de uso, redução de custos e eficiência geral. Foram analisados aspectos da máquina como precisão na produção das casquinhas, dificuldades de manutenção, ausência de funções básicas, por exemplo, um modo automatizado, dentre outros. Após a identificação e a análise dos problemas da máquina, foi traçada uma solução baseando-se na utilização de Linguagem Ladder de programação para automatizar as funções da máquina. O fluxograma de funcionamento passou por uma reconstrução, aproveitando aspectos positivos e substituindo os aspectos negativos. Ao final dos testes, concluiu-se que a máquina de casquinhas tornou-se uma ferramenta de muito mais valor competitivo aos empreendedores locais, com melhorias como redução dos custos para construção, manutenção e limpeza, qualidade do produto final e facilidade de implementação em empreendimentos do ramo.

Palavras-chave: Eficiência. Ladder. Programação.

PROJECT AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATION ON AN ICECREAM CONE MACHINE

ABSTRACT

It is proposed to apply automation practices to make a cone machine built locally commercially viable. The machine used was altered applying automation principles seeking to make it easier to use, cheaper to build maintain and raise its general efficiency. Functionality of the machine were analyzed, like precision in the cone production, hard and slow maintenance processes, absence of an automatic mode, and so on. After identifying and analyzing the problems the cone machine has, a solution was designed based on Ladder coding language to automate the cone machine use. The machine's schematic were rebuilt, reusing positive points of the machine and ditching out negative ones. At the end of testing all of the new implementation, it is concluded that the cone machine became a tool with a higher competitive value for local entrepreneurs, holding enhancements in its costs, performance, maintenance, quality of the cones and is easy to run on a small local business of the industry.

Keywords: Efficiency. Ladder. Coding.

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população global e sua modernização ao longo das décadas trouxe a necessidade de produção em larga escala de produtos manufaturados. Essa busca por tecnologias inovadoras em qualquer segmento faz-se cada vez mais indispensável para atender às necessidades humanas de produção. Segundo Pinto, Nunes e Vieiro (2015), a solução encontrada pelo setor industrial para suprir as novas demandas sociais e tecnológicas foi a implementação de novas tecnologias nos maquinários e nos processos, com o objetivo de automatizar a linha de produção. Esse processo aumenta a capacidade, a velocidade e a eficiência produtiva de cada setor, conseqüentemente, reduz os custos de produção, melhora o lucro e facilita a manutenção dos equipamentos.

De acordo com Lopes Júnior, Da Silva Junior e Martins Júnior (2016), grande parte do setor industrial brasileiro que atua no segmento alimentício, especificamente na produção de sorvetes e insumos, é constituída por pequenas e médias empresas com campos de atuação regionais. Esse setor depende de processos produtivos predominantemente manuais e/ou semiautomáticos, limitando a produção em alguns aspectos.

Observando as necessidades regionais em relação à produção de insumos relacionados ao sorvete, uma empresa maringense desenvolveu uma máquina com potencial produtivo de média e pequena escala. O público-alvo consiste nas pequenas e médias empresas que ainda utilizam métodos artesanais de produção, que tendem a ser ineficientes, ou realizam a importação do produto final de outros estados.

Entretanto, no primeiro protótipo desenvolvido, os resultados produtivos não foram satisfatórios, devido às limitações do sistema operacional nele presentes, induzindo a empresa a utilizar técnicas de automação que vão ser desenvolvidas neste trabalho, com o objetivo de modernizar o projeto e torná-lo mais competitivo.

Outro motivo que levou esta empresa a optar por automatizar a máquina em questão foi facilitar a produção desta. No primeiro protótipo, os custos de produção foram muito altos, considerando mão de obra para a montagem e necessidade de uma Placa de Circuito Impressa (PCI) exclusiva para realizar o controle da máquina. A utilização de uma PCI limitou a empresa a apenas um fornecedor e, também, exigiu um profissional com conhecimento para montagem e manutenção.

Então, ao automatizar a máquina, a empresa busca viabilizar o projeto para o mercado local, tornando a ferramenta barata e fácil de operar. Como descrito por Jugend (2006), a automação e a implementação de novas tecnologias, além de serem necessárias, sempre são

opções mais claras para as empresas que se atentam ao desenvolvimento produtivo como uma fonte de vantagens competitivas; isso, futuramente, se torna um ponto decisivo para a sobrevivência e o crescimento dessas empresas no mercado.

Para automatizar a máquina de casquinha, foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP), que trabalhou em conjunto com uma Interface Homem-Máquina (IHM), utilizando técnicas de programação em Ladder parecidas com as utilizadas por Silva (2015) e por Fiala (2014) em seus trabalhos, para otimizar o produto final e a linha de produção.

Foram elaborados um novo fluxograma de funcionamento e um diagrama de blocos em Grafcet, além do replanejamento interno, que substituiu alguns componentes para assegurar a comunicação do CLP com o resto da máquina. Essas modificações foram muito importantes para obter uma máquina otimizada e com uma excelente eficiência produtiva. Os ganhos na produção dessa máquina também foram expressivos, dentre eles, a independência de fornecedores e de mão de obra especializada e a redução do tempo de produção.

A seguir, no segundo capítulo, serão demonstrados como a máquina funcionava em sua primeira versão, com os componentes e as partes que a constituíam, e as técnicas e considerações utilizadas para automatizá-la. No terceiro capítulo, serão apresentados os resultados obtidos após a automação, em comparação com o primeiro projeto. Por fim, no quarto capítulo, serão expostas as considerações finais do projeto.

2 DESENVOLVIMENTO

A máquina de casquinhas é composta por um molde de inox utilizado para assar e dar formato à massa. O molde é constituído por três formas independentes; uma é superior, realiza movimentos verticais, responsáveis por espalhar a massa, moldando o interior da casquinha, já as outras duas formas dão o formato de cone à casquinha e se movimentam na horizontal simultaneamente para liberar as casquinhas em uma rampa que pode levar a um recipiente de armazenamento.

Cada peça do molde possui, em seu interior, duas resistências de 600 W (watts) cada, totalizando uma potência de 1200 W (watts) por forma, para aquecer o molde e assar a massa. As formas do molde são movimentadas por dois motores, um dedicado à peça superior e um às duas inferiores.

Para injetar a massa nas formas, a máquina conta com oito bicos, cada um com uma seringa cujo êmbolo é movimentado por um terceiro motor; este, ao se movimentar para direita

ou esquerda, gira um fuso pressionando ou retraindo o êmbolo para bombear a massa pelos bicos ou puxar a massa do reservatório para dentro das seringas.

Na Figura 1, disposta a seguir, podemos observar como era a máquina de casquinhas em sua primeira versão e as formas e as seringas de injetar massa.

Figura 1 – Primeira versão da máquina de casquinhas



Fonte: Fotos do autor (2021).

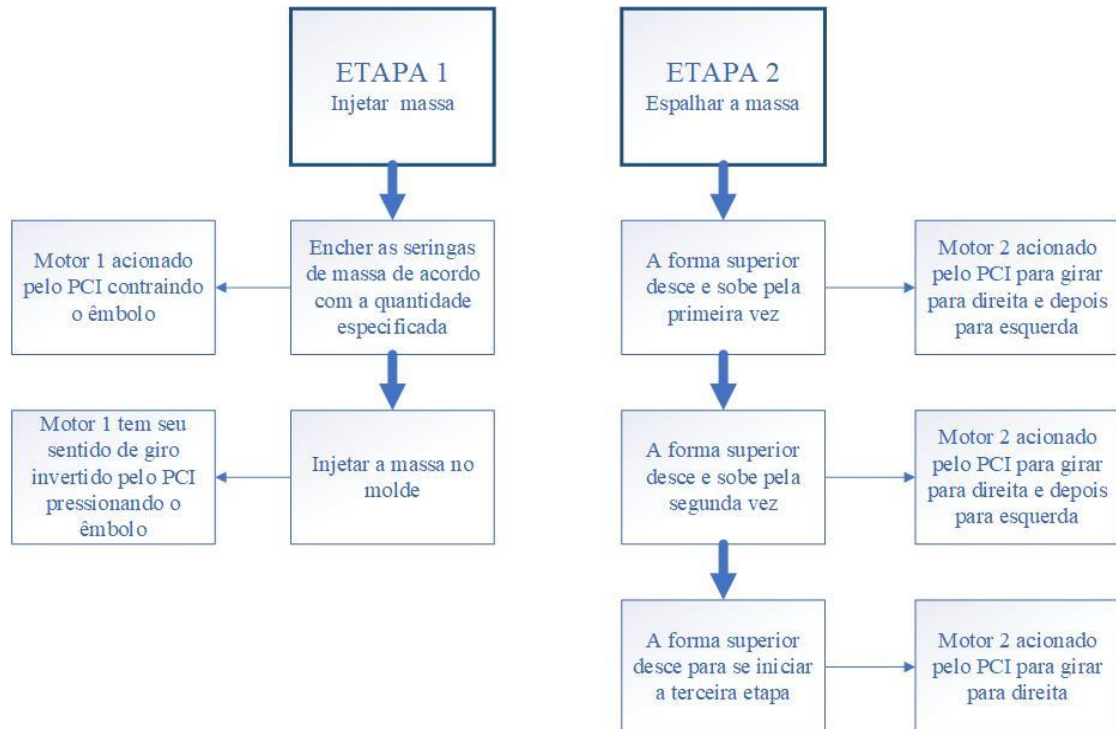
2.1 A MÁQUINA

No primeiro protótipo da máquina de casquinhas, há três displays numéricos e um controlador PID no painel. No controlador, o operador deve inserir o tempo de cozimento, a quantidade de massa, a altura de trabalho da peça superior do molde e a temperatura para assar a massa. Após preencher os campos, o operador deverá pressionar o botão “liga” para dar início ao processo de produção, que pode ser dividido em quatro etapas.

Na primeira etapa, o motor um deverá ser acionado para encher as seringas, de acordo com a quantidade desejada de massa, e injetar essa massa nas formas inferiores. Assim que for indicado por um sensor que as seringas foram completamente esvaziadas, dar-se-á início à segunda etapa, em que a forma superior movida pelo motor dois deverá descer, subir e descer novamente duas vezes consecutivas, para espalhar a massa pela forma inferior, entretanto o operador não deverá encostar na forma inferior, para não espirrar a massa. As posições da forma são todas indicadas por sensores indutivos, que podem ser regulados conforme a necessidade.

No Fluxograma 1, a seguir, podemos visualizar com mais clareza as etapas um e dois do processo da máquina.

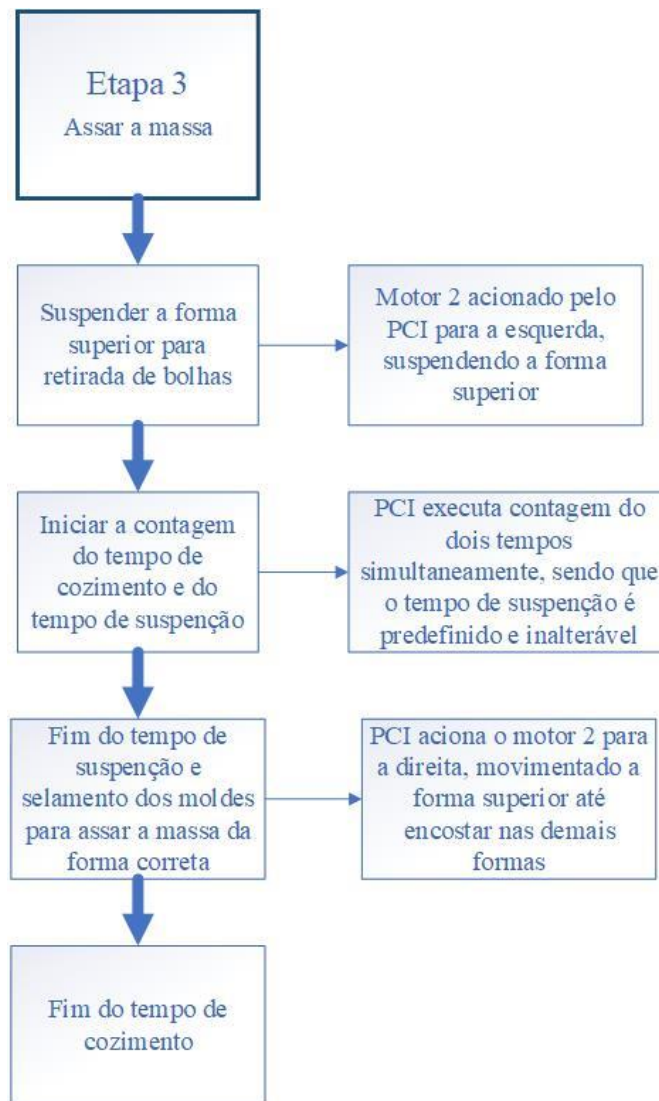
Fluxograma 1 – Fluxograma de operação das etapas um e dois



Fonte: Fotos do autor (2021).

Assim que o processo de espalhar a massa for finalizado, inicia-se a terceira etapa, na qual será contado o tempo de cozimento, e a forma superior deverá parar próxima às formas inferiores, de maneira que ainda esteja em contato com a massa. A forma superior pré-coze a massa, removendo as bolhas de ar, e deve permanecer nessa posição por um tempo de curta duração predefinido, menor que o tempo de cozimento, mas que começa a ser contado no mesmo momento deste. Ao fim da contagem do tempo de suspensão, a forma superior deverá novamente se movimentar, encostando nas formas inferiores e selando a massa até o fim do tempo de cozimento. A seguir, no Fluxograma 2, pode-se observar a etapa três do processo produtivo.

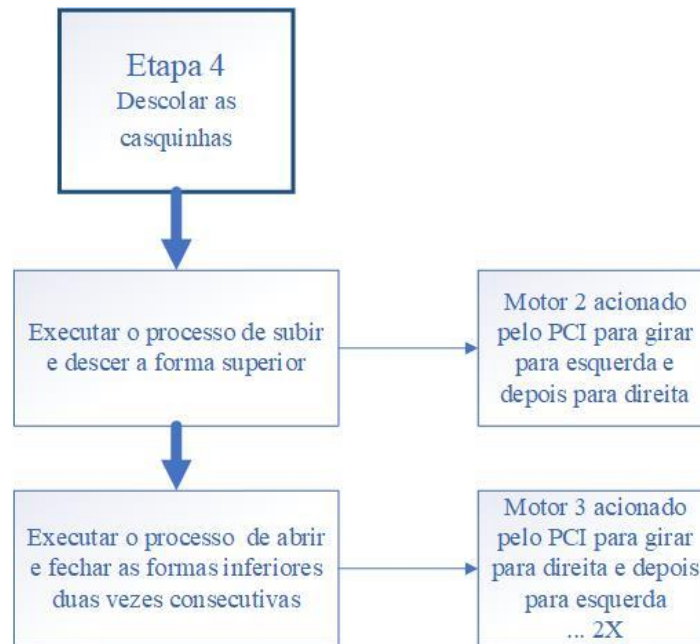
Fluxograma 2 – Fluxograma de operação da etapa três



Fonte: Fotos do autor (2021).

Por fim, na quarta e última etapa, as casquinhas recém-assadas deverão ser descoladas do molde e cair sobre uma rampa que leva a um recipiente de armazenamento. Para descolar as casquinhas, primeiro, a forma superior deverá subir e descer até a posição em que estava anteriormente. Em seguida, as duas formas inferiores movidas pelo motor três também vão se movimentar abrindo e fechando para descolar as casquinhas; esse movimento será repetido duas vezes, para garantir que todas as casquinhas cairão na rampa, finalizando o processo. No Fluxograma 3, a seguir, podemos analisar essa quarta etapa do processo.

Fluxograma 3 – Fluxograma de operação da etapa quatro



Fonte: Fotos do autor (2021).

No Apêndice, está disposto o Fluxograma 4, no qual podemos analisar o fluxo operacional da máquina com todas as etapas de funcionamento em ordem. Na sequência, discutiremos como foi feita a automação da máquina utilizando o CLP.

2.2 AUTOMAÇÃO

Com o intuito de automatizar a máquina, foi necessário repensar grande parte do sistema elétrico da nova versão, objetivando substituir o PCI utilizado para o controle da máquina por um CLP. O novo modelo escolhido foi o TP04P-21EX1R com IHM de texto integrada da fabricante Delta, que foi selecionado devido ao baixo custo, à versatilidade fornecida pela IHM integrada e à maior acessibilidade a *softwares* que são disponibilizados gratuitamente no *site* da fabricante. A empresa em questão já trabalha com outros dispositivos da mesma marca em outras máquinas e já criou um vínculo de confiabilidade com essa marca. As melhorias foram implementadas por meio de lógicas de programação, que podem ser otimizadas conforme as necessidades produtivas e, ao serem concluídas, podem sempre ser reutilizadas nos lotes futuros dessa mesma máquina.

Como descreve Costa (2011), devido à grande variedade de equipamentos e fabricantes, torna-se difícil escolher o equipamento que melhor atende às necessidades de uma aplicação.

Uma das características que influenciou a escolha desse modelo foi o número de entradas e saídas, pois possui oito terminais de entradas digitais e oito terminais de saídas a relé, além de dois canais analógicos, dois canais exclusivos para a leitura de sensores (que têm como princípio de medição a verificação de variações de resistência elétrica, como os da linha PT) e um canal de saída analógico, como é possível observar no Anexo 1.

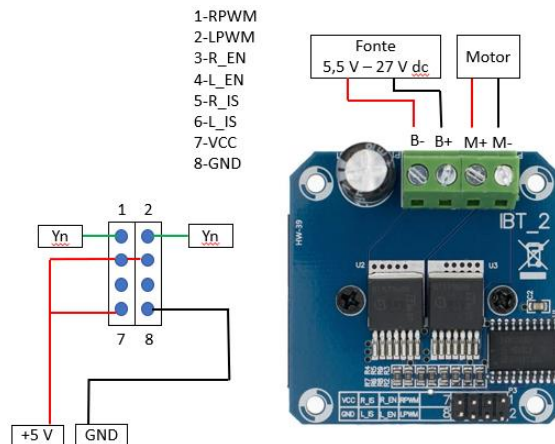
Também foram utilizados seis sensores indutivos NPN e um sensor de temperatura do tipo termorresistência PT100, responsáveis por indicar a posição das formas, a posição do êmbolo da seringa e a temperatura em que se encontra as formas para que o CLP execute os testes lógicos programados, acionando os motores e as resistências ligadas às saídas.

Os três motores utilizados operam com tensão de 24 V (volts) em corrente contínua, dois deles são da marca ZD Motor, fabricados na China, nos modelos Z2D10-24GN-30S e Z4D60-24GN, com potências de 10 W e 60 W, respectivamente, possuindo média de 3000 RPM. Eles foram selecionados devido ao baixo custo e por possuírem uma grande variedade de relações de redução, que são escolhidas conforme a necessidade da aplicação no momento da compra dos motores. Já o terceiro motor se trata de um motor nacional da Motron, no modelo 510-VERP-25, com potência de 300 W, com uma relação de redução para 30 RMP, que atende muito bem a essa aplicação devido à robustez e ao preço acessível.

Em função de a potência consumida pelos motores ser maior que a potência máxima aceita pelas saídas do CLP, além da necessidade da reversão de polaridade dos motores para inverter o sentido de giro, foi necessária a utilização de *drivers* ponte H em cada um dos motores. O modelo escolhido foi o BTS-7960 IBT2 de 43 A, cujos *drivers* foram posicionados no interior do painel de comando, parafusados nas chapas das paredes do painel, próximos às fontes de alimentação.

Para acionar ponte H, deverão ser energizados os pinos sete e oito que serão conectados aos polos positivos e negativos da fonte em 5 V. Para realizar a comunicação do CLP com a ponte, inicialmente, devemos conectar o sinal em 5 V vindo da fonte aos pinos três e quatro, para habilitar os pinos de reversão um e dois, responsáveis por receber o sinal enviado pelo CLP, por meio de dois fios que conectam as saídas Y_n , responsáveis por mandar os sinais de reversão de sentido de giro. O motor deverá estar conectado às saídas M+ e M- da ponte H, enquanto a fonte dedicada a alimentar o motor deverá estar conectada às entradas B+ e B-. Podemos observar, na Figura 2, o modelo elétrico e as ligações da ponte H.

Figura 2 – Ligações do *driver* ponte H



Fonte: O próprio autor (2021).

Assim como os motores, devido ao fato de a potência das resistências superar a capacidade das saídas do CLP, foi utilizado um relé de estado sólido modelo SSR – 40DA conectado direto ao disjuntor de alimentação da máquina em 220 V e controlado pelo CLP.

Para alimentar o sistema, foram utilizadas duas fontes de 24 V, dedicadas ao CLP, aos sensores indutivos e aos motores, e uma fonte de 5 V, dedicada ao estado sólido e aos *drivers* ponte, como podemos observar no diagrama elétrico disposto na Figura 3, disponível no Apêndice, desenvolvido no *software* Cade Simu.

Na sequência, estão dispostas as melhorias propostas e alguns dos objetivos esperados.

2.3 MELHORIAS REALIZADAS

Após ter conhecimento sobre o processo produtivo da versão anterior e dos componentes a serem utilizados, podemos começar a replanejar o funcionamento da máquina analisando quais as possíveis melhorias que podem ser implementadas.

Um dos principais problemas da versão anterior da máquina era não possuir um modo automático de operação. Para estabelecer uma produção contínua, o operador sempre deveria prosseguir acionando o botão “liga” para iniciar novos processos, tornando a utilização extremamente dependente do operador.

Outro problema importante a ser tratado era a regulagem, uma vez que não existia a possibilidade de regular as alturas de trabalho das formas sem alterar a posição dos sensores. Não era possível adequar a máquina a tipos diferentes de massas e formas. Além disso, a

dificuldade na prestação de manutenção e limpeza era alta, sendo necessário realizar o desmanche da máquina para que todos os processos de higiene pudessem ser feitos.

Por fim, a verificação da posição das formas e dos êmbolos das seringas ficava sempre a cargo do operador, e, sempre que houvesse paradas inesperadas, ele precisaria reposicionar todos os componentes mecânicos em seus estados iniciais, desmontando a máquina para ajustá-la.

No novo processo produtivo, inicialmente, o operador deverá preencher os campos dispostos na IHM referentes à temperatura e ao tempo de cozimento, à quantidade de massa, à altura de trabalho para espalhar a massa, ao tempo e à altura de suspensão para retirada de bolhas; também é necessário que o operador selecione o modo de trabalho, escolhendo entre modo manual e modo automático.

Após preencher todos os campos, o início da operação se manterá bloqueado até que as formas alcancem a temperatura de trabalho especificada, garantindo que a massa seja assada corretamente, evitando perda de material. Quando a temperatura for atingida, o operador será informado, por uma mensagem exposta na IHM, de que o processo poderá ser iniciado.

Ao pressionar o botão “liga”, na primeira etapa, a máquina vai verificar se todas as formas e seringas estão em suas posições iniciais, indicadas pelos sensores indutivos; caso essa condição não seja atendida, os motores deverão ser acionados posicionando corretamente cada componente, garantindo o funcionamento correto e eliminando a necessidade de ajuste manual por parte do operador. Quando essa condição for satisfeita, o motor responsável por movimentar o êmbolo das seringas será acionado para enchê-las com a quantidade de massa especificada e injetará a massa na forma, revertendo o sentido de giro.

Assim que as seringas estiverem completamente vazias, a segunda etapa será iniciada, para espalhar a massa nos moldes, garantindo maior uniformidade das casquinhas, as quais, em seguida, serão assadas, descoladas e embaladas na quarta e última etapa.

Caso o operador configure a máquina no modo de operação “automático”, a máquina vai executar todas as etapas em *loop*, ou seja, ao final de cada ciclo, ela iniciará o processo novamente. Entretanto, para reduzir o tempo gasto durante a ciclagem, após injetar a massa no final da primeira etapa, as seringas vão ser preenchidas novamente no mesmo momento em que a segunda etapa é iniciada. Ao final do ciclo, durante o reinício do processo, a massa vai ser injetada diretamente, reduzindo em 75% o tempo gasto na primeira etapa no modo “automático”.

Em casos de paradas inesperadas ou ao fim de expediente de serviço, caso o último ciclo tenha ocorrido em modo de operação “automático”, ao retomar a operação, a máquina vai verificar se as seringas estão com a quantidade correta de massa, e, assim que a posição das

formas for verificada e corrigida, a máquina dará seguimento ao processo a partir da injeção da massa. Caso a quantidade de massa não esteja de acordo com a quantia especificada ou a máquina seja desenergizada, as seringas vão retornar às suas posições iniciais (completamente vazias), e o processo será executado por inteiro do princípio.

Se o modo de operação for alterado no ciclo posterior à parada (de automático para manual), os mesmos procedimentos de verificação serão realizados; se atendidos, o ponto de partida será o mesmo (a partir da injeção da massa), entretanto o ciclo não vai ser reiniciado após injetar a massa, e as seringas não vão tornar a encher.

Caso o intervalo entre o último ciclo e a retomada das atividades seja muito grande ou a máquina não seja desligada (desenergizada), ficará a cargo do operador verificar se a massa dentro das seringas ainda está em boas condições. Se não estiver, ele deverá executar a limpeza da máquina mediante uma interface disposta na IHM, em que se pode operar cada um dos componentes mecânicos independentemente.

No Fluxograma 5, apresentado no Apêndice, podemos observar com mais clareza o novo processo de operação que foi descrito anteriormente.

Com tais melhorias, além de aperfeiçoar o desempenho da máquina, também se busca facilitar a produção, reduzindo o tempo gasto para produzir cada máquina, e eliminar a dependência de mão de obra especializada, reduzindo, eventualmente, os custos de produção. Além disso, torna a máquina mais confiável, com menor suscetibilidade a erros e com manutenção simplificada, para poder oferecer garantia e pós-venda melhores.

A seguir, apresentaremos como será feita a programação do CLP e os softwares e as ferramentas utilizados.

2.4 PROGRAMAÇÃO

Conhecendo os componentes e o funcionamento da máquina de casquinha, pode-se, então, dar início ao desenvolvimento da lógica de programação que será aplicada ao CLP e da interface a ser utilizada na IHM. Os *softwares* utilizados para programar a forma são ISPSOft versão 3.11, TPEditor 1.98 e COMMGR 1.12, os quais são disponibilizados pela Delta para o desenvolvimento da lógica de programação da interface da IHM e para fazer a comunicação do *software* com o dispositivo a ser programado.

A linguagem de programação utilizada foi a Ladder, entretanto a lógica de programação foi desenvolvida em diagrama de blocos Grafcet, para garantir uma modelagem sequencial mais eficiente, que, posteriormente, será convertida para Ladder, assim como Lopes, Gradinetti e

Marcelino (2008) fizeram em seu trabalho. Nugraha (2018) garante a eficiência do método e descreve que a utilização do diagrama Grafcet auxilia a eliminação de algumas deficiências existentes na linguagem Ladder, por exemplo, a solução de problemas do sistema, considerando que, para uso em escala industrial, a programação deve ser eficiente e eficaz.

Na primeira etapa do desenvolvimento da programação, devemos listar a tabela de entradas e saídas analisando os componentes que vão fornecer informações ao CLP e os que vão ser acionados por ele. A seguir, no Quadro 1, podemos analisar as listas de entradas e saídas junto com a função de cada componente.

Quadro 1 – Tabela de entradas e saídas com a funcionalidade de cada item

Tabela de Entradas e Saídas			
ENTRADA	FUNÇÃO	SAIDA	FUNÇÃO
Liga	Botão utilizado para ligar a máquina	MT1DE	Motor 1 gira para direita (puxa massa)
Desl	Botão utilizado para desligar a máquina	MT2DE	Motor 2 gira para direita (sobe forma 1)
SE1	Indica forma 1 na posição inicial	MT3DE	Motor 3 gira para direita (fecha formas 2 e 3)
SE2	Indica que as formas 2 e 3 estão abertas	MT1ES	Motor 1 gira para esquerda (injeta massa)
SE3	Indica forma 1 na posição final	MT2ES	Motor 2 gira para esquerda (desce forma 1)
SE4	Indica que as formas 2 e 3 estão fechadas	MT3ES	Motor 3 gira para esquerda (abre formas 2 e 3)
SE5	Mensurar quantidade de massa	RESIS	Acionar as resistências
SE6	Indicar que as seringas estão vazias		

Fonte: O próprio autor (2021).

A etapa seguinte é desenvolver a lógica de programação em diagrama Grafcet tendo como base a tabela de entradas e saídas. O Diagrama 1 disposto no Apêndice expõe cada etapa do processo produtivo e o que será feito nessa etapa, assim como as condições lógicas que devem ser satisfeitas para que o processo possa seguir adiante.

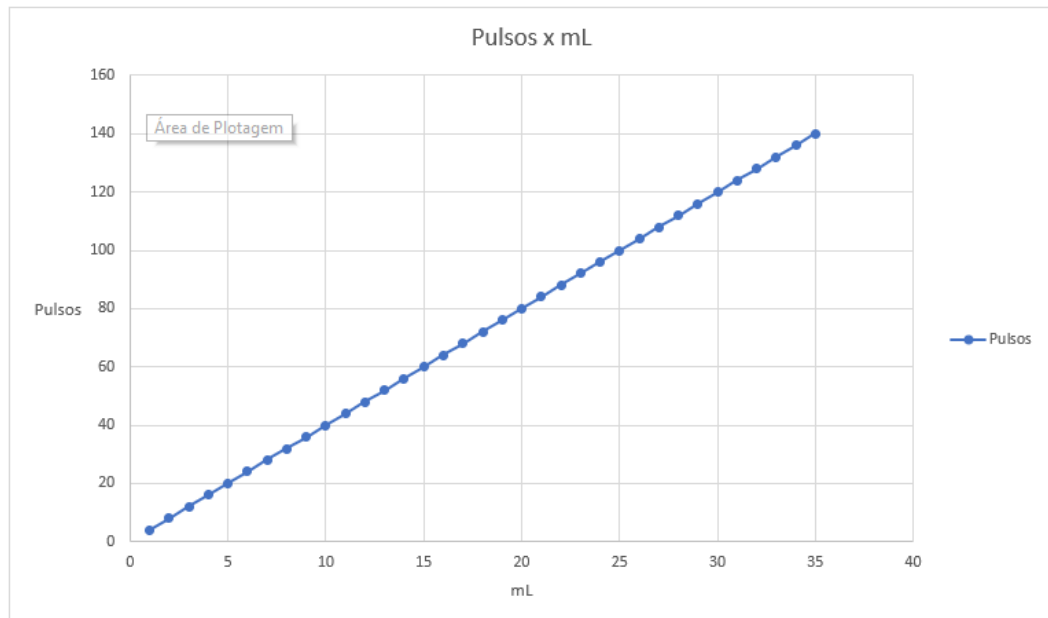
Para facilitar a conversão do diagrama Grafcet em Ladder, foi estabelecida uma tabela de transição de etapas em que é possível analisar com clareza como deve ser montada a sintaxe em Ladder, considerando os testes lógicos a serem seguidos, em conjunto com as etapas que os sucedem, quando satisfeitas, agregando uma ordem sequencial de funcionamento. No Apêndice, na Tabela 1, encontra-se a tabela de transição de etapas.

Com a lógica de programação pronta, o próximo passo é implementá-la no ISPSOft, que deverá estar conectado por meio do COMMGR com o CLP via cabo de transferência. Por se tratar de um CLP com IHM integrada, não é necessário estabelecer uma conexão para que a comunicação entre os dois aconteça, basta as *tags* utilizadas serem as mesmas. A tabela de *tags* (Tabela 2) e a programação (Figura 4 e Figura 5) estão dispostas no Apêndice.

Algumas das *tags* utilizadas na programação já vêm prescritas no programa, como “M1000”, que se trata de uma *tag* com estado booleano em nível lógico 1 (ativo), utilizada para ativar blocos de operações lógicas. Também foram utilizadas *tags* de registro “D”, dedicadas a armazenar valores e informações na memória do CLP, que vão ser utilizadas em equações futuras; por exemplo, quando o operador preencher na IHM o tempo de cozimento desejado (em segundos), essa informação vai ser registrada na memória, no endereço do registrador “D410”, e, então, vai ser convertida pelo bloco “MUL” em décimos de segundo e regravada no registrador “D1”, para ser lida pelo temporizador “T1”, que contará o tempo de cozimento da massa.

De acordo com o *datasheet* da fabricante, existem três tipos de registradores “D”, que são: momentâneos (em que, ao desligar o CLP, as informações contidas neles são apagadas, cujos endereços são D0~D407, D600~D999 e D3920~D4999); retentivos (em que as informações gravadas neles serão salvas na memória do CLP, e os endereços são D408~599 e D2000~3919); especiais (responsáveis por ativar e desativar funções do CLP, com endereçamento de D1000~1999).

Para realizar a leitura da quantidade de massa a ser injetada nas formas, foi utilizada uma engrenagem acoplada ao fuso que movimenta o êmbolo das seringas, a qual trabalha em conjunto com o sensor indutivo e é acionada toda vez que um dente dessa engrenagem passa pelo sensor. Considerando que a relação de pulsos por mL é de 4/L, podemos analisar, a seguir, no Gráfico 1, a quantidade necessária de voltas do fuso para cada mL.

Gráfico 1 – Relação de quantidade de pulsos por mL

Fonte: O próprio autor (2021).

Para realizar a conversão da quantidade de pulsos em mL na programação, foi desenvolvido um bloco de função, que é constituído por dois contadores. O primeiro contador fica realizando ciclos de contagem de até 4 pulsos, e o segundo conta quantas vezes o primeiro contador atinge quatro contagens. Na Figura 6, disponível no Apêndice, podemos observar a programação do bloco.

Também foi necessário criar um bloco de função para converter os valores analógicos fornecidos pelo sensor PT100 em temperatura, utilizando outros blocos de fusão prontos disponibilizados pelo *software*.

2.5 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

A principal função de uma Interface Homem-Máquina é melhorar a interação do operador com a ferramenta, facilitando a operação. Entretanto, por se tratar de uma IHM de texto sem interface gráfica, há a limitação de ser possível apenas o monitoramento de variáveis e a informação de valores, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – IHM de texto modelo TP04P-21EX1R

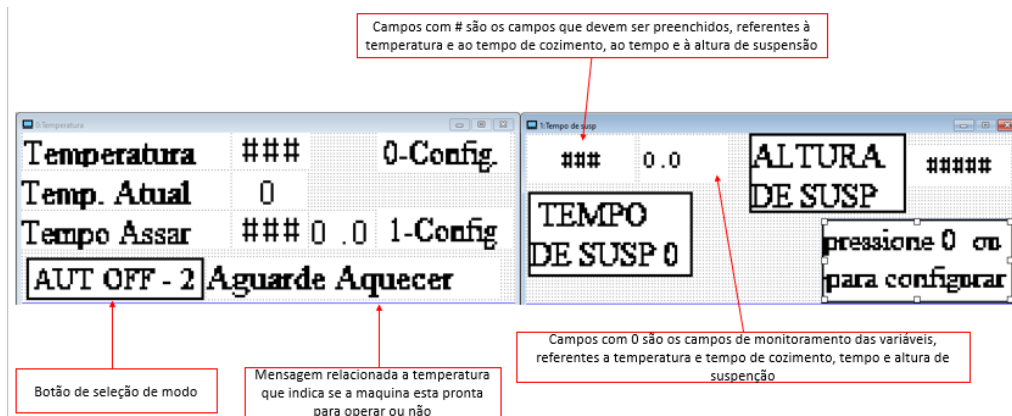


Fonte: Manual de operação Delta TP70P/TP04P.

A interface desenvolvida no TPEditor para a máquina de casquinhas é composta por quatro telas intercambiáveis, e o operador pode alternar entre elas conforme a necessidade para preencher ou alterar os campos de operação de acordo com a receita de massa que for utilizada.

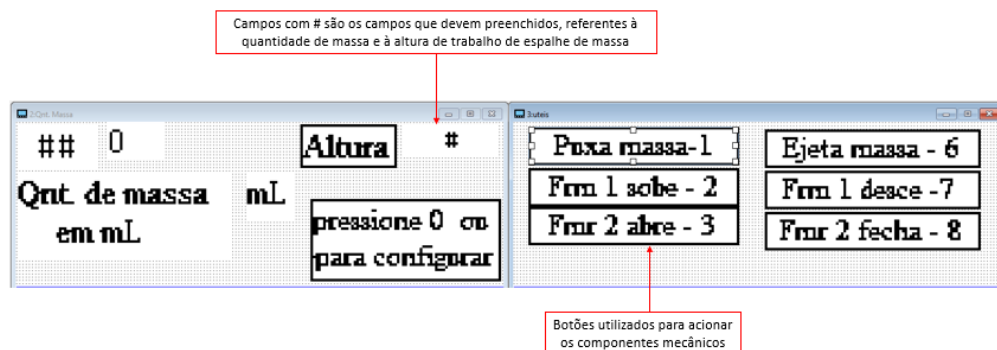
Na primeira tela, temos os campos a serem preenchidos, referentes à temperatura e ao tempo de cozimento, que são observados junto com o botão responsável por alternar o modo de operação da máquina de manual para automático. Já na segunda tela, estão dispostos os campos referentes aos tempos de suspensão e à altura de suspensão para retirada das bolhas de ar. Na terceira tela, há a quantidade de massa a ser injetada e a altura de trabalho para espalhar as massas. Na quarta e última tela, estão dispostos os botões responsáveis por atuar de forma independente nos componentes mecânicos da máquina, para fins de limpeza, manutenção e ajustes. A seguir, nas Figura 8 e 9, podemos observar as quatro telas acompanhadas da função de cada campo.

Figura 8 – Interface das telas 1 e 2 da IHM



Fonte: O próprio autor (2021).

Figura 9 – Interface das telas 3 e 4 da IHM



Fonte: O próprio autor (2021).

Após apresentados todo o processo de desenvolvimento da automação e as técnicas utilizadas, no tópico seguinte (Resultados e discussão), poderão ser analisados os resultados obtidos no projeto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao implementar a automação no novo protótipo da máquina, seguindo o diagrama elétrico em conjunto com a programação desenvolvida, o funcionamento ficou disposto do modo descrito na sequência.

Assim que todos os campos dispostos na interface da IHM forem preenchidos, o funcionamento da máquina vai permanecer bloqueado até que a temperatura especificada pelo operador seja atendida. Com o funcionamento liberado, o operador poderá pressionar o botão

“liga” para dar início ao processo. Ao iniciar o processo, a máquina vai verificar se todos os componentes estão na posição, começando pelas formas 2 e 3, cuja posição inicial é indicada pelo sensor SE4; em seguida, verifica a posição da forma 1, que deve ser indicada pelo sensor SE1; por fim, confere se as seringas estão vazias, informação fornecida ao CLP pelo sensor SE6. Caso essas condições não sejam atendidas, os motores 1, 2 e 3 vão ser acionados para corrigir as posições.

Em seguida, será iniciado o processo de aplicação da massa nas formas, no qual o motor 1 vai ser acionado, puxando a massa do reservatório de acordo com a quantidade especificada, que é mensurada pelo sensor SE5 e convertida no CLP. Ao fim dessa etapa, o sentido de giro do motor 1 vai ser revertido para bombear a massa até que as seringas estejam completamente vazias, conforme indicado pelo sensor SE6.

Para espalhar a massa nas formas, o motor 2 será acionado, movimentando a forma 1, que deverá descer de sua posição inicial, ir até a posição final indicada por SE3 e subir novamente a uma altura determinada pelo operador, processo que se repete sucessivas vezes. Por fim, a forma 1 deverá parar em suspensão, sem encostar nas formas 2 e 3, enquanto o tempo de suspensão e de cozimento são contados para eliminar as bolhas de ar da massa antes que o motor 2 seja acionado novamente para selar as formas e finalizar o processo de cozimento da máquina.

No processo de descolar as casquinhas, o motor 2 vai ser acionado, para fazer a forma 1 subir e descer, retornando à posição final para descolar o interior das casquinhas. Em seguida, o motor 3 vai ser acionado, separando as formas 2 e 3 até acionar o sensor SE2, indicando ao CLP que o sentido de giro do motor 3 deverá ser revertido até a posição inicial indicada pelo SE4. Por fim, a forma 1 vai ser levemente suspensa, e as formas 2 e 3 vão ser movimentadas novamente e devem parar abertas, indicando o final do processo.

Se o modo automático estiver ativo, ao final de cada ciclo produtivo, a máquina vai retomar o ciclo automaticamente. Para economizar tempo, o procedimento de preenchimento das seringas vai ser realizado simultaneamente com o processo de espalhe da massa, e, no início do próximo ciclo, durante a verificação de posição, ao detectar que as seringas já estão cheias, a máquina vai pular essa etapa e seguirá direto para a injeção da massa.

Caso o botão “desliga” seja pressionado em qualquer momento da operação, a máquina vai parar imediatamente e, ao retomar o processo, vai movimentar as formas para suas posições iniciais; se as seringas estiverem corretamente preenchidas, prosseguirá com o ciclo a partir da injeção da massa.

Para melhor visualização do funcionamento, verifique o *link* disposto no Apêndice, referente ao vídeo dos primeiros testes realizados na máquina sem utilizar massa.

Além das otimizações do processo produtivo da máquina em si, houve um ganho expressivo para a empresa desenvolvedora. Os gastos com mão de obra e tempo de produção foram reduzidos em, aproximadamente, 20%. Na primeira versão, gastava-se em torno de 150 dias corridos na produção, valor que foi reduzido para 120 dias corridos, segundo a empresa, o que tem um grande peso, pois essa empresa não trabalha com pronta-entrega, e sim com pedidos, e o tempo de produção é um grande diferencial comercial. A seguir, está disposta a Tabela 3, em que se pode ver o tempo gasto em dias corridos nas duas versões da máquina e o desvio de tempo entre elas.

Tabela 3 – Tempo gasto na produção da máquina

Período em dias corridos para produzir cada máquina			
Critérios	Primeira versão	Versão automatizada	Desvio
Dias	150	120	30

Fonte: O próprio autor (2021).

A máquina também apresentou como benefício a independência da mão de obra, pois não se tem mais a necessidade de um funcionário altamente qualificado para realizar a montagem. Em relação à otimização do fluxograma, considerando que a versão antiga consumia em média 195 s para concluir um ciclo, na nova versão, cada ciclo leva em torno de 140 s, ou seja, houve um ganho de 55 s em cada ciclo produtivo da máquina no modo automático; assim, no período de uma hora, a nova versão acaba realizando oito ciclos a mais que a versão anterior, produzindo sessenta e quatro casquinhas a mais por hora, com oito casquinhas produzidas por ciclo. Na Tabela 4, podemos ver os resultados produtivos.

Tabela 4 – Comparativo de produção entre versões da máquina

Tempo por ciclo/produção por Hora			
Critérios	Primeira versão	Versão automatizada	Desvio
Tempo em segundos	195	140	55
Ciclos por hora	18	26	8
Qnt. de casquinhas	144	208	64

Fonte: O próprio autor (2021).

Em relação aos custos totais de produção da máquina, a empresa desenvolvedora se manteve sigilosa e não compartilhou nenhum valor para fins comparativos, informando apenas

que os custos permaneceram os mesmos do projeto original, considerando apenas os gastos com componentes elétricos e mecânicos e com mão de obra. Apesar de o CLP e de alguns outros novos componentes apresentarem um valor um pouco mais alto que os utilizados anteriormente, esse valor foi compensado na folha de pagamento, pois a máquina leva menos tempo para ser produzida e não possui a necessidade de um funcionário especializado em eletrônica para realizar a montagem, conforme informado pela empresa.

Com a automação, a máquina também se tornou um produto mais atrativo e confiável, possibilitando que a empresa desenvolvedora ofereça um período de garantia maior e melhores serviços pós-venda. Além disso, a identificação de falhas dos componentes internos se tornou mais fácil por conta da substituição do antigo controlador em PCI por um CLP/IHM, que se trata de um produto consolidado no mercado há mais tempo, menos suscetível a erros nas condições em que foi empregado, passando maior confiabilidade. Assim como descrito por Pereira (2019), equipamentos que costumam apresentar poucas falhas ou que as falhas podem ser corrigidas de modo rápido têm um impacto determinante para se obter bons resultados, e esse fator está sempre relacionado diretamente com a competitividade do produto dentro do mercado.

4 CONCLUSÃO

Ao fim deste trabalho, analisando os resultados obtidos no novo modelo da máquina de casquinhas que foram expostos no tópico anterior, podemos concluir que, após atualizar o projeto para uma versão automatizada, obteve-se um produto mais moderno e eficiente, com potencial necessário para suprir as necessidades do público-alvo com um custo acessível, tornando-se um produto muito mais competitivo no mercado.

De modo geral, os resultados atingidos foram satisfatórios, considerando que o tempo de produção e os gastos com mão de obra foram reduzidos, e as expectativas da empresa foram superadas em relação ao replanejamento do fluxograma de funcionamento, que, em um ciclo produtivo estendido, mostrou um desempenho melhor. Os resultados nos mostram o quão vantajoso foi automatizar esse projeto, assim como ocorreu no projeto apresentado por Molin, Biasi e Suzuki (2017), que relatou uma grande redução nos gastos mensais com mão de obra na empresa estudada.

Entretanto, ainda existem algumas melhorias que podem ser implementadas futuramente, como um sistema de segurança mais eficiente, para evitar acidentes, melhorar os mecanismos de aferição de quantidade de massa e o posicionamento das formas, garantindo maior precisão no produto final.

REFERÊNCIAS

COSTA, Luiz Augusto A. **Especificando sistemas de automação industrial**. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2011.

FIALA, Leonardo Kotviski. **Automação de caldeira industrial por CLP**. 2014. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Mecatrônica Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

JUGEND, Daniel. **Desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas de base tecnológica: práticas de gestão no setor de automação de controle de processo**. 2016. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

LOPES, Luciano de Lima; GRANDINETTI, José Francisco; MARCELINO, Marcio Abud. Aplicação do GRAFCET na redução do retrabalho de uma linha de pintura automotiva. **Produto & Produção**, v. 9, n. 1, p. 03-13, fev. 2008.

LOPES JÚNIOR, José Calixto; DA SILVA JUNIOR, Herculano X.; MARTINS JÚNIOR, Antônio Carlos de O. Possibilidade de automação para indústria de sorvete predominantemente manual. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 14., 2016, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

MOLIN, Thiago Vinícius; BIASI, Herculano de; SUZUKI, Nilton Kazuo Gomes. Desenvolvimento de um alimentador automatizado para máquinas de acabamento de peças cilíndricas em madeira. In: ROCHA, S. (org.). **Pesquisa e prática docente no curso de Engenharia de Controle e Automação: Universidade do contestado, Curitiba-SC**. Curitiba: Universidade do Contestado, 2017.

NUGRAHA, Raka. **Konstruksi Ladder Diagram Dengan Bantuan Grafcet Untuk Factory Automatic Trainer**. 2018. Tese (Doutorado) – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.

PEREIRA, Rogerio Martins. **Análise RAM do sistema de automação de uma linha de laminação de tiras a frio**. 2019. 70 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

PINTO, Jhone Ricardo Cima; NUNES, Fabiano de Lima; VIERO, Carlos Frederico. Avaliação dos ganhos de produtividade e redução de custos gerados pela automação de processo em uma empresa calçadista: um estudo de caso. **Revista Espacios**, v. 36, n. 16, 2015.

SILVA, Reginaldo Barboza da *et al.* Desenvolvimento, automação e desempenho de um consolidômetro com interface homem-máquina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 416-427, 2015.

ANEXOS

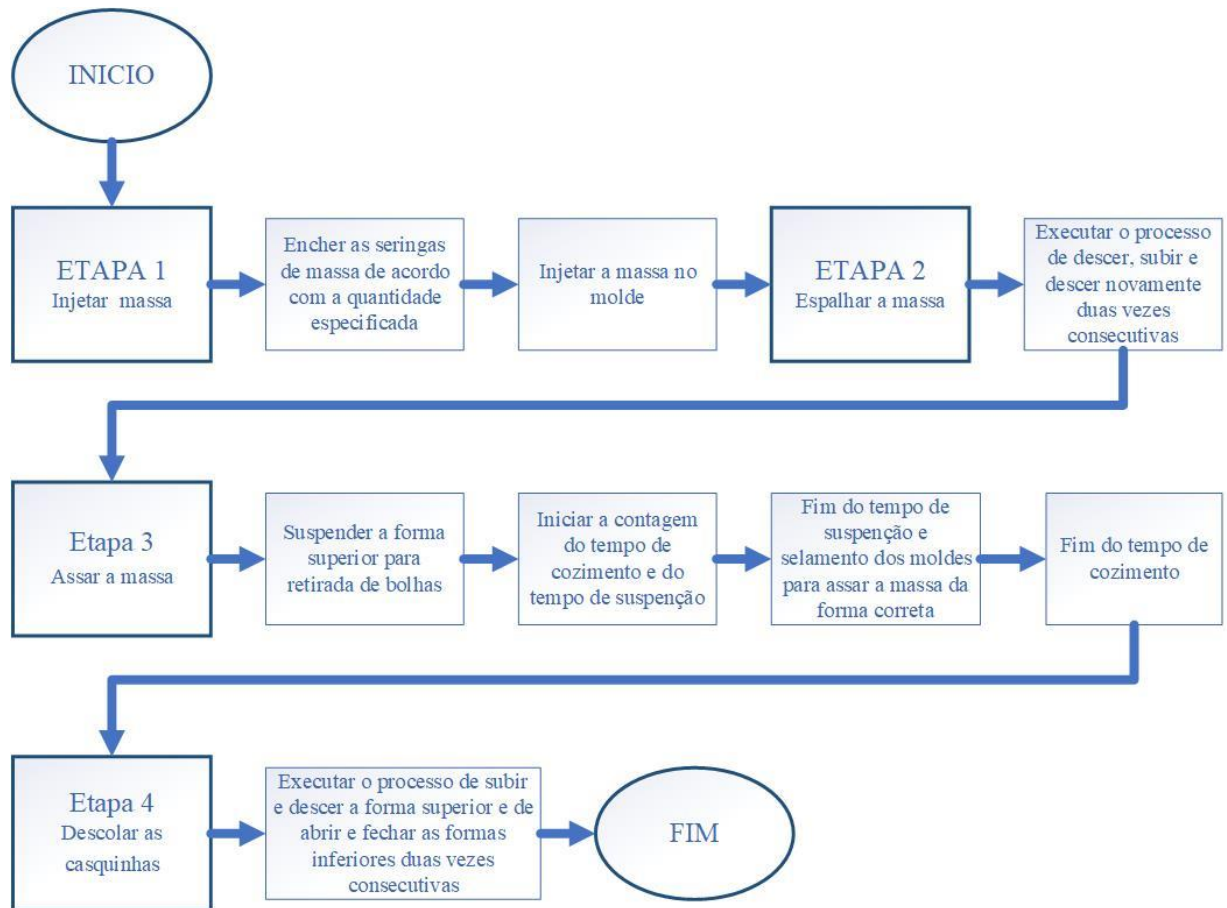
Anexo 1 – Tabela de entradas digitais/analógicas e saídas digitais/analógicas

TP04P-21EX1R (8DI/8DO/2AI/1AO/2PT)	
S/S0	C0
X0	Y0
X1	Y1
X2	Y2
X3	Y3
X4	Y4
X5	Y5
X6	Y6
X7	Y7
•	•
I0+	L3+
I0-	L3-
FE	I3-
I1+	FE
I1-	•
FE	L4+
•	L4-
I2	I4-
AG	FE
FE	•

Fonte: Datasheet Delta TP04P.

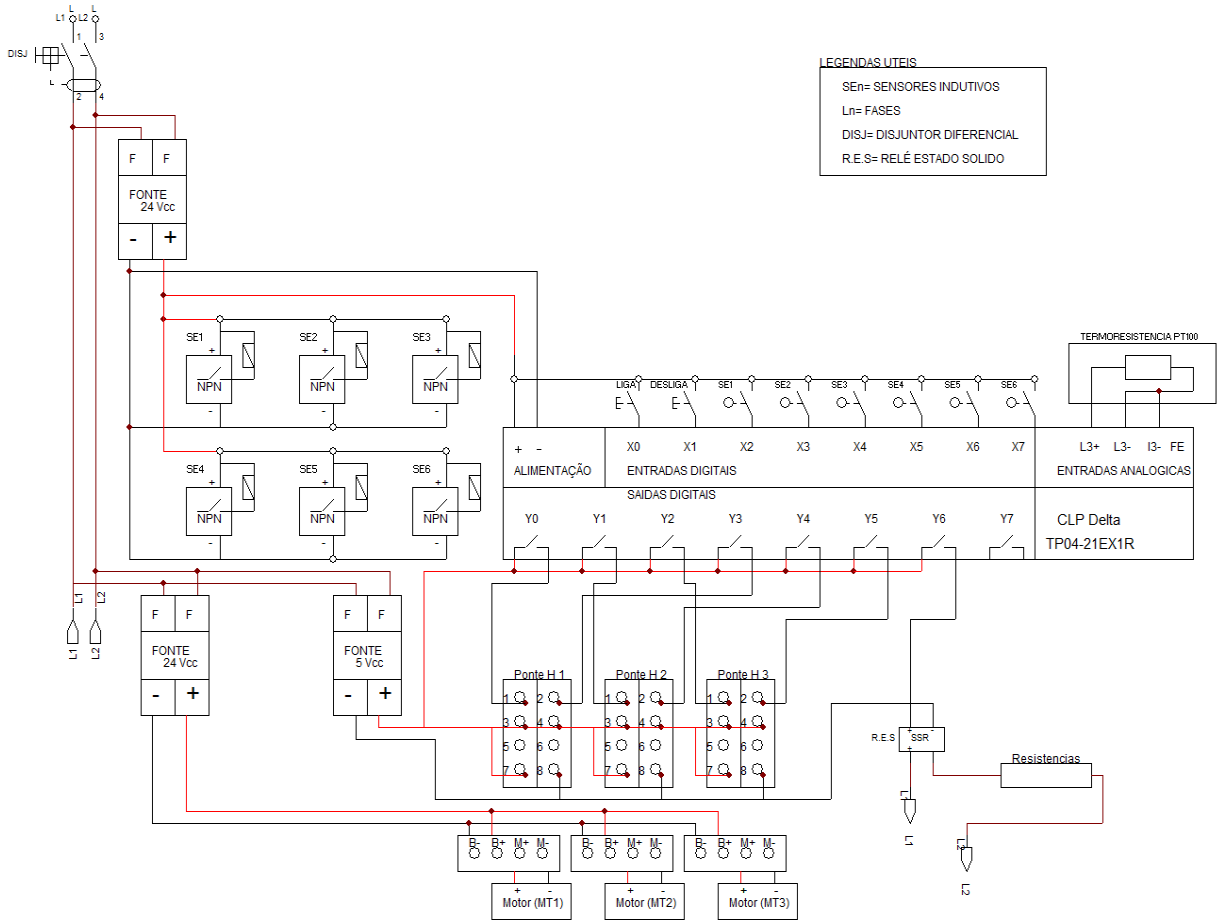
APÊNDICE – INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Fluxograma 4 – Fluxograma de operação da primeira versão da máquina



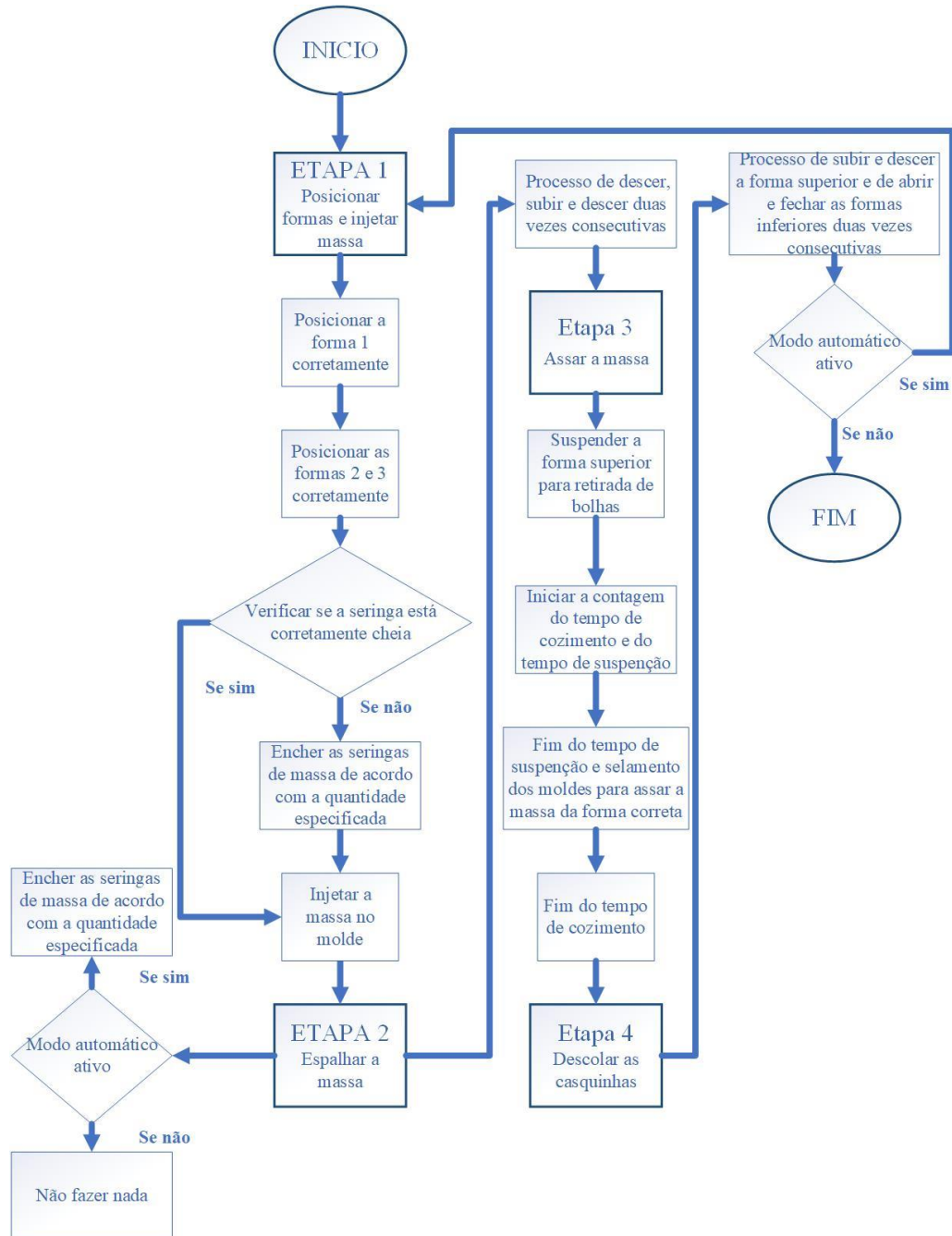
Fonte: O próprio autor (2021).

Figura 3 – Diagrama elétrico



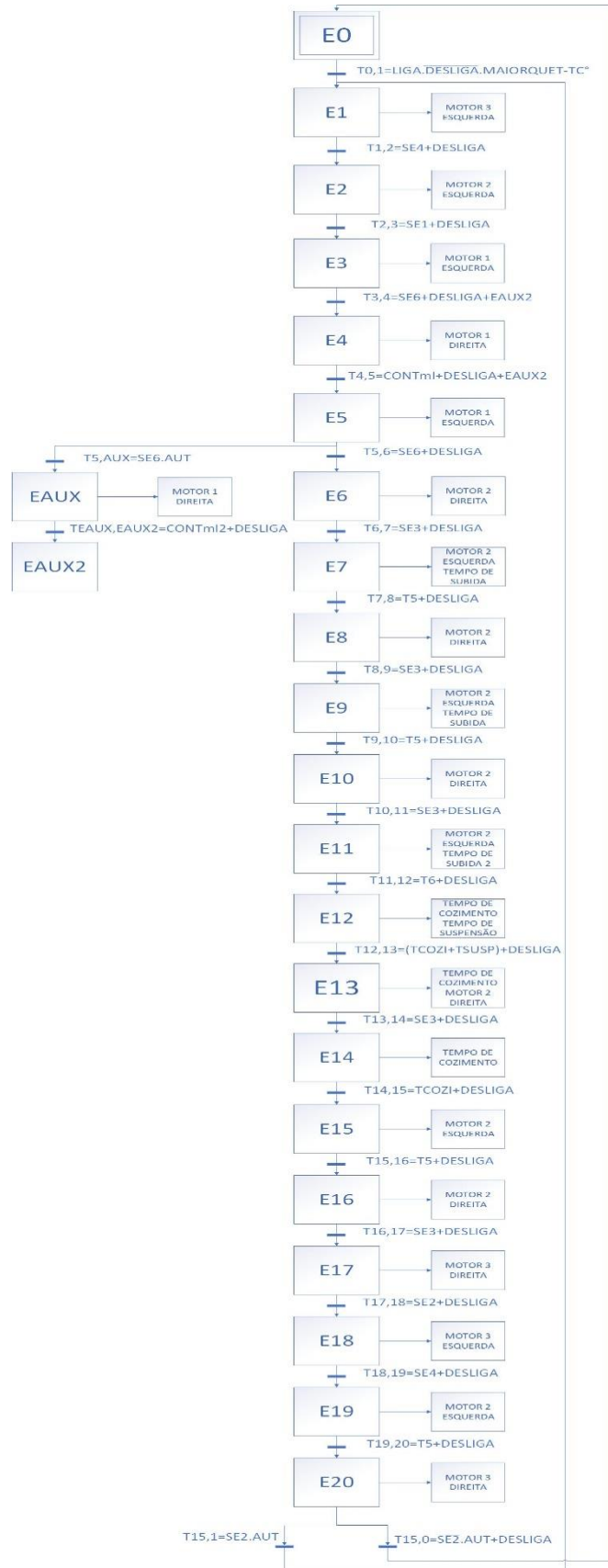
Fonte: O próprio autor (2021).

Fluxograma 5 - Novo fluxograma de operação



Fonte: O próprio autor (2021).

Diagrama 1 – Diagrama de lógica em Grafcet



Fonte: O próprio autor (2021).

Tabela 1 – Tabela de transição de etapas

Tabela de transição / Etapa		
ITEM	TRANSIÇÕES	ETAPAS
FS	AUX_FS	[FISRT_SCAN
FS	1	[AUX_FS
ACION.E0	FIRST SCAN+AUX_E15_0	SET0
T0,1	AE0.LIGA.DESL .TEMPOK+AUX_E15_1	RAE0;SAE1
T1,2	AE1(SE4+DESL)	RAE1;SAE2
T2,3	AE2(SE1+DESL)	RAE2;SAE3
T3,4	AE3(SE6+DESL+EAUX2)	RAE3;SAE4
T4,5	AE4(CONTmL+DESL+EAUX2)	RAE4;SAE5;REAUX2
T5,6	AE5(SE6+DESL)	RAE5;SAE6
T5,AUX	AE5(SE6.AUT)	SEAUX
TEAUX,EAUX2	EAUX(CONTm2+DESL)	SEAUX2;RESAUX
T6,7	AE6(SE3+DESL)	RAE6;SAE7
T7,8	AE7(T5+DESL)	RAE7;SAE8
T8,9	AE8(SE3+DESL)	RAE8;SAE9
T9,10	AE9(T5+DESL)	RAE9;SAE10
T10,11	AE10(SE3+DESL)	RAE10;SAE11
T11,12	AE11(T6+DESL)	RAE11;SAE12
T12,13	AE12((TCOZI+TSUSP)+DESL)	RAE12;SAE13
T13,14	AE13(SE3+DESL)	RAE13;SAE14
T14,15	AE14(TCOZI+DESL)	RAE14;SAE15
T15,16	AE15(T5+DESLIGA)	RAE15;SAE16
T16,17	AE16(S3+DESL)	RAE16;SAE17
T17,18	AE17(S2+DESL)	RAE17;SAE18
T18,19	AE18(SE4+DESL)	RAE18;SAE19
T19,20	AE19(T5+DESL)	RAE19;SAE20
T20,0	AE15(S4.AUT+DESL)	AUX_E20_0
T20,1	AE15(S4.AUT)	AUX_E20_1
	AUX_E20_0+AUX_E20_1	RAE20
	AE3+AE5	MT 1 ES
	AE4+EAUX	MT 1 DE
	AE2+AE7+AE9+E11+AE15+AE19	MT 2 ES
	AE6+AE8+AE10+AE13+AE16	MT 2 DE
	E1+E18	MT 3 SE
	E17+AE20	MT 3 DE
	AE12+AE13+AE14	TCOZI
	AE12	TSUSP
	TEMPOK	RESIS
	AE7+AE9+AE15+AE19	T5
	AE11	T6

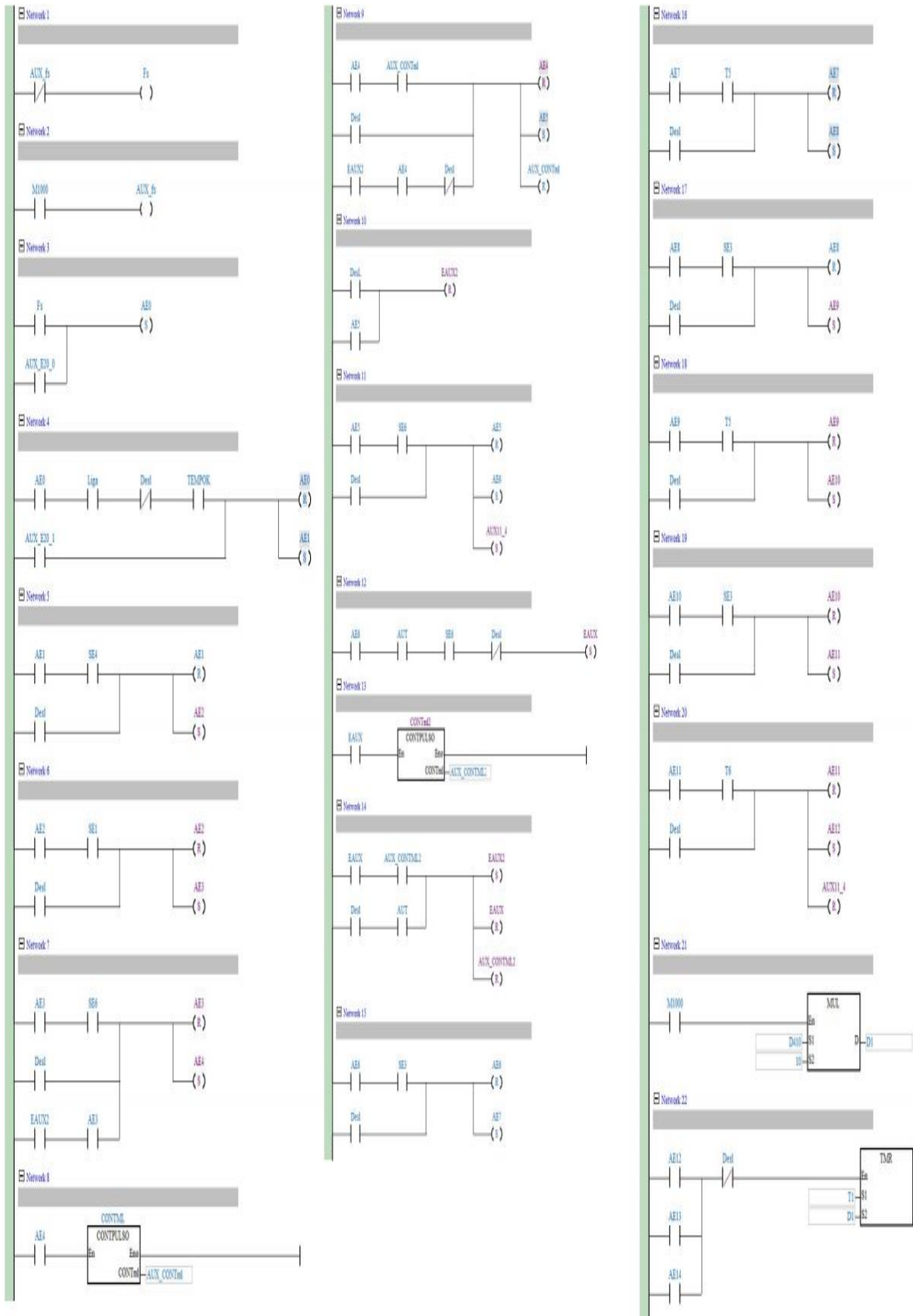
Fonte: O próprio autor (2021).

Tabela 2 – Tabela de *tags* declaradas na programação

Main Table					
Identifiers	Address	Type	Initial Value	Identifier Comment	
RES9	Y6	BOOL	FALSE		
MT3E3	Y3	BOOL	FALSE		
MT2E3	Y4	BOOL	FALSE		
MT1E3	Y3	BOOL	FALSE		
MT3DE	Y2	BOOL	FALSE		
MT2DE	Y1	BOOL	FALSE		
MT1DE	Y0	BOOL	FALSE		pucha massa
SE6	X7	BOOL	FALSE		
SE4	X5	BOOL	FALSE		
SE1	X2	BOOL	FALSE		
Dev1	X1	BOOL	FALSE		
Liga	X0	BOOL	FALSE		
CONTM2	NA [Auto]	CONTPULSO	NA		
CONVT	NA [Auto]	conversordetemp	NA		
TEMPRES	M5	BOOL	FALSE		
AUX11_4	M4	BOOL	FALSE		
AUX11_3	M3	BOOL	FALSE		
AE14	M2	BOOL	FALSE		
AE13	M1	BOOL	FALSE		
AE12	M0	BOOL	FALSE		
AE11	M29	BOOL	FALSE		
AE10	M28	BOOL	FALSE		
AE19	M27	BOOL	FALSE		
AUX_CONTM2	M26	BOOL	FALSE		
E AUX	M25	BOOL	FALSE		
TEMPOK	M24	BOOL	FALSE		
AUT	M23	BOOL	FALSE		
AE18	M22	BOOL	FALSE		
m AUX	M21	BOOL	FALSE		
AE17	M20	BOOL	FALSE		
AE16	M19	BOOL	FALSE		
AE15	M18	BOOL	FALSE		
AE11	M17	BOOL	FALSE		
AE10	M16	BOOL	FALSE		
AE9	M15	BOOL	FALSE		
AE4	M9	BOOL	FALSE		
E AUX2	M8	BOOL	FALSE		
AE3	M7	BOOL	FALSE		
AE2	M6	BOOL	FALSE		
AUX_E20_1	M5	BOOL	FALSE		
SE3	X4	BOOL	FALSE		
SE2	X3	BOOL	FALSE		
CONTM1	NA [Auto]	CONTPULSO	NA		
AE8	M14	BOOL	FALSE		
AE7	M13	BOOL	FALSE		
AE6	M12	BOOL	FALSE		
AE5	M11	BOOL	FALSE		
AUX_CONTM1	M10	BOOL	FALSE		
AE1	M4	BOOL	FALSE		
AE0	M3	BOOL	FALSE		
AUX_E20_0	M2	BOOL	FALSE		
AUX_f1	M1	BOOL	FALSE		
F1	M0	BOOL	FALSE		

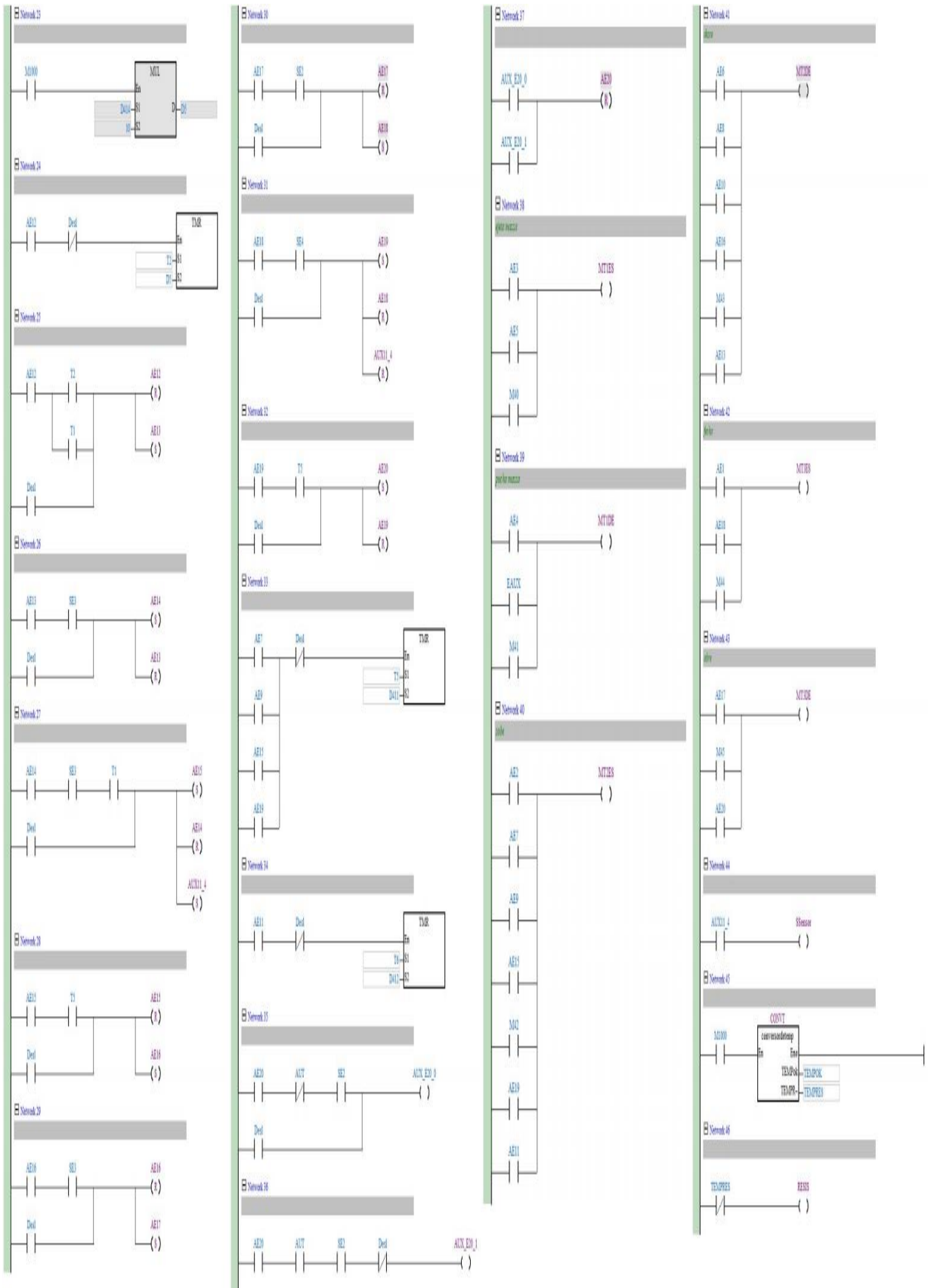
Fonte: O próprio autor (2021).

Figura 4 – Programação em Ladder – Parte 1



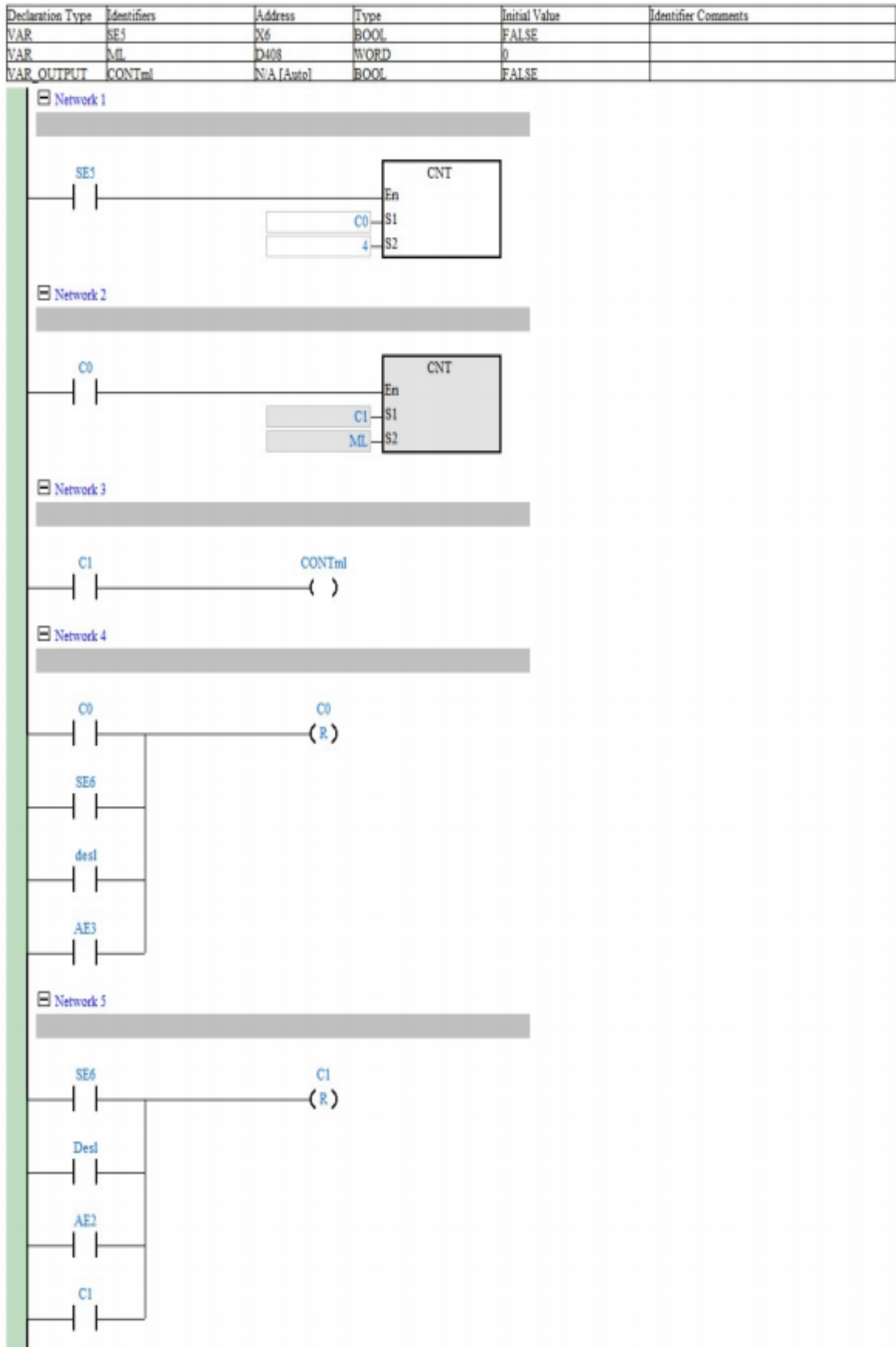
Fonte: O próprio autor (2021).

Figura 5 – Programação em Ladder – Parte 2



Fonte: O próprio autor (2021).

Figura 6 – Programação em Ladder do bloco de conversão de pulsos em mL



Fonte: O próprio autor (2021).

Link

TESTES da máquina de casquinhas. [S. l.: s. n.], 2021. 1 vídeo (4 min.). Publicado pelo canal Higor Caldeira. Disponível em: <https://youtu.be/bdEskddY73I>. Acesso em: 28 out. 2021.