



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS**



**COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**

MATHEUS ROCHA GONÇALVES

**CONTROLE DE NÍVEL DE PLANTA DIDÁTICA USANDO
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2019

MATHEUS ROCHA GONÇALVES

**CONTROLE DE NÍVEL DE PLANTA DIDÁTICA USANDO
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof.^a Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Dezembro, 2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G635c Gonçalves, Matheus Rocha .
Controle de nível de planta didática usando controlador lógico programável.
[manuscrito] / Matheus Rocha Gonçalves. - 2019.
38 f.: il.: color., tab..

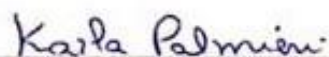
Orientadora: Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas.

2. Transdutores ultrassônicos . 3. Automação Industrial. 4. Controlador Lógico
Programável (CLP). 5. Ladder (Linguagem de programação de computador) . I.
Palmieri, Karla Boaventura Pimenta. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.
Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716

Monografia intitulada **CONTROLE DE NÍVEL DE PLANTA DIDÁTICA USANDO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL** e aprovado, em 16 de Dezembro de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri – Orientadora



BSc. Fernando dos Santos Alves Fernandes – Convidado



Prof. Engenheiro Gradimilo Cândido de Jesus – Convidado

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por ter me guiado nessa trajetória e em minhas escolhas. Dedico essa conquista aos meus pais Francisco e Sônia (para sempre na memória), aos meus irmãos, Marcelo, Chiquinho e Rodrigo. Obrigado por estarem sempre ao meu lado.

À minha querida Thaís e a sua família. Obrigado por tudo.

À Universidade Federal de Ouro Preto, aos professores, aos meus colegas pelas oportunidades e aprendizados e em especial agradeço a minha orientadora Prof.^a. Dr.^a. Karla Boaventura Pimenta Palmieri pelos ensinamentos e orientações passados durante o curso.

RESUMO

Este projeto apresenta um sistema amplamente utilizado nas instalações industriais e muito pesquisado, o sistema de controle de nível de tanques com Controlador Lógico Programável - CLP. O sistema projetado realiza em escala laboratorial um controle de nível de três tanques com o uso de um sensor ultrassônico, que monitora o tanque principal e quatro sensores tipo chave boia que controlam os reservatórios de suprimento para o tanque principal. Para fazer o controle do sistema foi criado um código no programa Master Tool IEC, que é disponibilizado pelo fabricante do CLP. Neste projeto é descrito a maneira de implementação, as linguagens de programação, o código utilizado em Ladder, os dispositivos utilizados e os resultados obtidos.

Palavras-chave: Controle de Nível, Sensor Ultrassônico, Automação Industrial, CLP, Ladder, MasterTool IEC.

ABSTRACT

This project presents a system widely used in industrial facilities which is the tank level control system with Programmable Logic Controller. The engineered system performs a three-tank level control using an ultrasonic sensor that monitors the main tank and four float switch sensors that control the supply tanks for the main tank. To control the system a code was created in the Master Tool IEC program, which is available from the PLC manufacturer. The project describes the way of implementation, the programming languages, the code used in Ladder, the devices used and the results obtained.

Keywords: tank level control , ultrasonic sensor , industrial automation, PLC, Ladder, MasterTool IEC

SUMÁRIO

RESUMO.....	- 5 -
ABSTRACT	- 6 -
LISTA DE ABREVIATURAS.....	- 8 -
LISTA DE FIGURAS	- 9 -
LISTA DE TABELAS.....	- 10 -
1. INTRODUÇÃO	- 11 -
1.1 Objetivo	- 12 -
1.2 Objetivos Específicos	- 12 -
1.3 Estrutura do Trabalho	- 12 -
2. REVISÃO DA LITERATURA	- 14 -
2.1 Automação industrial.....	- 14 -
2.2 Indústria 4.0.....	- 15 -
2.3 Controle de nível de líquidos.....	- 16 -
2.4 Controlador Lógico Programável (CLP)	- 17 -
2.5 Linguagens.....	- 19 -
2.6 Arduino.....	- 23 -
2.7 Sensores.....	- 23 -
2.8 Atuadores.....	- 24 -
2.9 Sistemas Supervisórios	- 24 -
3. METODOLOGIA.....	- 25 -
3.1 Materiais	- 25 -
3.2 Montagem.....	- 30 -
3.3 Programação	- 32 -
3.4 Resultados.....	- 35 -
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	- 36 -
REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 37 -
Anexo A.....	- 39 -

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

CLP - Controlador Lógico Programável

CPU – Unidade Central de Processamento

EPROM - Memória Programável Apagável Somente de Leitura

FDB- Diagrama de Blocos

FLASH- EPROM- Memória Programável Apagável Somente de Leitura Eletricamente

IHM - Interface Homem Máquina

IL- Lista de Instruções

IOT – Internet das Coisas

LD- Linguagem Ladder

NEMA- National Electrical Manufactures Association

RAM- Memória Volátil

SCADA- Controle Supervisório e Aquisição de Dados

SFC- Diagrama de Fluxo

ST- Texto Estruturado

TecInd - Laboratório de Tecnologias Industriais

UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Revoluções industriais	- 15 -
Figura 02: Esquema funcionamento CLP	- 19 -
Figura 03: Texto estruturado	- 20 -
Figura 04: Linguagem Ladder	- 20 -
Figura 05: Diagrama de blocos.....	- 20 -
Figura 06: Diagrama de Fluxo.....	- 21 -
Figura 07: Diagrama Ladder.....	- 23 -
Figura 08: Descrição do projeto	- 26 -
Figura 09: Sensor de nível tipo chave boia.....	- 26 -
Figura 10: Tanques superiores com sensores ICOS	- 27 -
Figura 11: Sensor ultrassônico HC-SR04.....	- 27 -
Figura 12: Eletrobomba de água.....	- 28 -
Figura 13: CLP DUO - Altus.....	- 29 -
Figura 14: Diagrama elétrico.....	- 31 -
Figura 15: Esquema inicial de programação	- 32 -
Figura 16: Esquema inicial de programação	- 33 -
Figura 17: Acionamento das válvulas solenoides.....	- 34 -
Figura 18: Esquema de acionamento das válvulas solenoides	- 34 -

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Instruções básicas da linguagem Ladder ----- **-21-**

Tabela 02: Custos do projeto ----- **-27-**

1. INTRODUÇÃO

A indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, é o conceito de indústria que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. A partir desse conceito há a necessidade de se desenvolver máquinas inteligentes e superprodutivas que sejam capazes de produzir o melhor produto com o menor custo.

O principal objetivo desse conceito é conectar máquinas, sistemas e ativos, assim as empresas poderão criar redes inteligentes ao longo de toda a sua produção que poderão controlar os módulos da fabricação de forma autônoma. Em um futuro próximo, as fábricas inteligentes serão capazes de agendar manutenções, prever falhas nos processos e se adaptar as mudanças não planejadas na produção.

A velocidade da evolução da Informática Industrial tem aumentado exponencialmente e com isso o uso de ferramentas para a automação também tem crescido. Dentre essas ferramentas estão algumas que serão usadas neste projeto, como o Controlador Lógico Programável - CLP, sensores de nível, entre outros.

O CLP é uma das ferramentas mais utilizadas no processo de automação industrial. É um computador que executa funções específicas para cada tarefa. O CLP foi primeiramente utilizado na empresa *General Motors* na década de 60, devido à necessidade de alterar processos de forma rápida e com menor custo.

Para a utilização do CLP, é necessário apenas um computador e uma pessoa para manipular o programa de forma simples, através de uma Interface Homem Máquina - IHM, o que tornou possível simplificar a alteração dos processos, reduzindo tempo, mão de obra e custos.

A comunicação com IHM é feita através de um Sistema Supervisório, que é um programa feito em uma linguagem que a máquina processa e executa as ações necessárias. O sistema supervisório é usado para armazenar as informações geradas pelos sensores e pelo sistema, tomar as decisões necessárias de acordo com os resultados e falhas que aparecem no processo. As tomadas de decisões são feitas com base em uma programação existente em sua memória ou através da ação do operador.

As decisões tomadas pelo operador são baseadas nas informações mostradas na IHM e por isso é de extrema importância que a interface da IHM seja de fácil entendimento. Uma IHM simplificada possibilita uma rápida tomada de decisão, o que economiza tempo ao operador e a indústria.

Munido por esses conceitos, foi proposto e desenvolvido um projeto, em nível didático, de uma planta de controle e automação do nível do líquido de um tanque. Nessa planta, um CLP processa os sinais gerados por sensores localizados no tanque e comanda o acionamento das válvulas e da bomba.

A linguagem usada para programação foi a LADDER, própria para CLP e padronizada internacionalmente pela norma IEC 61131-3.

1.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho é controlar o nível de tanques acoplados através de um CLP, sensores e bombas elétricas. O controle é feito através do CLP, que processa os dados recebidos dos sensores e executa as ações correspondentes aos parâmetros recebidos.

1.2 Objetivos Específicos

- Estudo das aplicações de controle de nível;
- Estudo do funcionamento e aplicação do CLP;
- Estudo específico da linguagem Ladder;
- Desenvolvimento de uma planta em escala laboratorial aplicando o controle de nível e utilizando CLP;
- Discussão dos resultados obtidos.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este projeto foi dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, os objetivos gerais e específicos e a estrutura do mesmo. No segundo capítulo apresenta-se a revisão da literatura, mais especificamente o que é automação industrial, indústria 4.0, controle de nível de líquidos, CLP, linguagens, arduino, sensores e atuadores. No terceiro

capítulo apresenta-se a metodologia do projeto, os materiais utilizados, a montagem, a programação e os resultados do projeto. E no quarto capítulo serão descritas as considerações finais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Automação industrial

A automação industrial se baseia em tarefas de produção realizadas por seres humanos as quais são transferidas a um conjunto de elementos tecnológicos, mantendo sempre a segurança e a qualidade. O principal objetivo é a criação de mecanismos que sejam capazes de aumentar a eficiência dos processos, maximizar a produção com o menor consumo de energia, menor emissão de resíduos, melhores condições de segurança e reduzir ao máximo o esforço humano na cadeia de valor.

Alguns dos objetivos que devem ser alcançados com a automação industrial são:

- Melhorar a eficiência: aumentar o número de itens produzidos por hora, reduzindo assim os custos de produção e aumentando a qualidade do produto/serviço;
- Melhorar as condições de trabalho: aumentar a segurança dos trabalhadores, pois são eliminados os trabalhos perigosos;
- Realização de operações que não seriam viáveis de controlar intelectualmente ou manualmente.

A automação industrial se embasa na projeção e implantação de sistemas físicos, que controlam processos materiais e gerenciam as tomadas de decisões de forma totalmente descentralizada. Essencialmente é classificada em: controle de processo discreto, cuja execução é feita em etapas (realiza-se a alimentação do procedimento com matéria-prima, ocorrendo em seguida à reação e finalizando com a tiragem do produto); e controle de processo contínuo, a operação é feita de forma ininterrupta a fim de garantir o maior volume possível de produto final, deste modo quando uma fase da operação é finalizada, o produto é transferido em sequência para outra máquina que dará continuidade ao processo de fabricação.

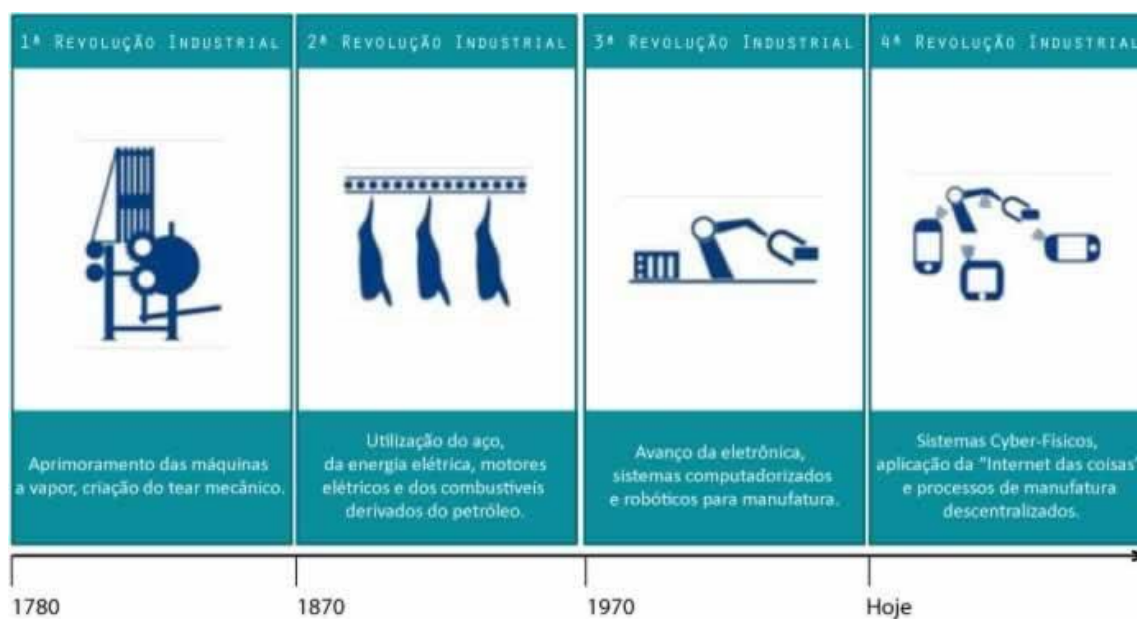
2.2 Indústria 4.0

A indústria 4.0 é um conceito de indústria que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de tecnologia da informação, automação e controle. A partir das novas tecnologias de automação, os processos de produção tendem a se tornar cada vez mais eficazes, autônomos e personalizados. O termo indústria 4.0, teve sua origem a partir de um projeto do governo alemão, voltado para as tecnologias, segundo Silveira (2016), seu fundamento básico implica em:

[...] “conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas poderão criar redes inteligentes ao longo de toda a cadeia de valor que podem controlar os módulos da produção de forma autônoma. Ou seja, as fábricas inteligentes terão a capacidade e autonomia para agendar manutenções, prever falhas nos processos e se adaptar aos requisitos e mudanças não planejadas na produção.” (SILVEIRA, 2016).

A Figura 01 evidencia um resumo das três revoluções industriais, seguida pela quarta revolução, ou indústria 4.0.

Figura 01: Revoluções industriais



Fonte: Citisystems, 2016.

Para o desenvolvimento e a implantação da Indústria 4.0 os princípios básicos são a capacidade de operação em tempo real, virtualização, descentralização, orientação a serviços e modularidade.

Os pilares desta quarta revolução industrial são:

- Internet das coisas (Iot): é uma revolução tecnológica que tem por objetivo conectar dispositivos eletrônicos à internet;
- *Big Data Analytics*: São estruturas de dados muito extensas e complexas que utilizam novas abordagens para a captura, análise e gerenciamento de informações;
- Segurança: Um dos principais desafios para o sucesso da quarta revolução industrial está na segurança e robustez dos sistemas de informação.

2.3 Controle de nível de líquidos

O sistema de controle de nível é comumente utilizado em residências e indústrias. A automação facilita esse processo, pois não necessita de um controle humano, o que diminui o erro no processo.

O controle residencial é normalmente utilizado para medir o nível de água em caixas d'água. Antes era feito de modo manual, onde o morador ligava ou desligava a bomba. Através da automação é possível fazer controle de diversas maneiras, mas geralmente utiliza-se a chave boia, que é o mais barato. A chave boia substitui a ação do operador, pois é essa quem comanda o acionamento de uma bomba de acordo com os dados do nível de água.

Na indústria esse controle é amplamente utilizado, pois é um fator determinante para o resultado de inúmeros processos. Um exemplo é a indústria farmacêutica, que produz remédios, onde o controle de cada líquido adicionado é de extrema importância na composição final de um remédio feito para consumo humano. A adição de insumos líquidos na fabricação é um processo que deve ser controlado minuciosamente e com a utilização da automação esse fator é simplificado. A automação desse sistema possibilita que os produtos fabricados sejam exatamente iguais, não variando em sua composição ou formato.

Outro exemplo a ser demonstrado é em postos de combustíveis, onde o controle efetivo dos líquidos implicado no resultado final de uma empresa. A utilização de um controle eficiente

possibilita lucros maiores em uma empresa e também possibilita um maior gerenciamento de estoque. Se o controle for bem feito é possível prever com antecedência pra quando será necessário efetuar uma nova compra de combustíveis e se não está havendo divergência ou roubo de combustíveis.

Há diversos tipos de controle de nível, variando de complexidade e investimento. No trabalho descrito o controle é simples e de baixo custo, resultando em controle eficiente porque é controlado remotamente, mas opera dentro de uma faixa de erro. Esse erro é causado pela baixa precisão dos equipamentos utilizados, ou seja, quanto maior o custo do projeto maior será sua precisão no controle.

2.4 Controlador Lógico Programável (CLP)

O CLP na automação industrial é considerado como o “cérebro” da planta porque é capaz de se comunicar com todos os componentes. Ele reconhece as entradas, compara com a lógica do programa instalado na memória e atualiza a saída a todo momento sem a intervenção humana. É um computador muito robusto para suportar as condições hostis da indústria.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, o CLP “é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais”.

Segundo Maciel, 2008 *apud* NEMA (National Electrical Manufacturers Association), o CLP,

“é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos”. Maciel *apud* NEMA, 2008.

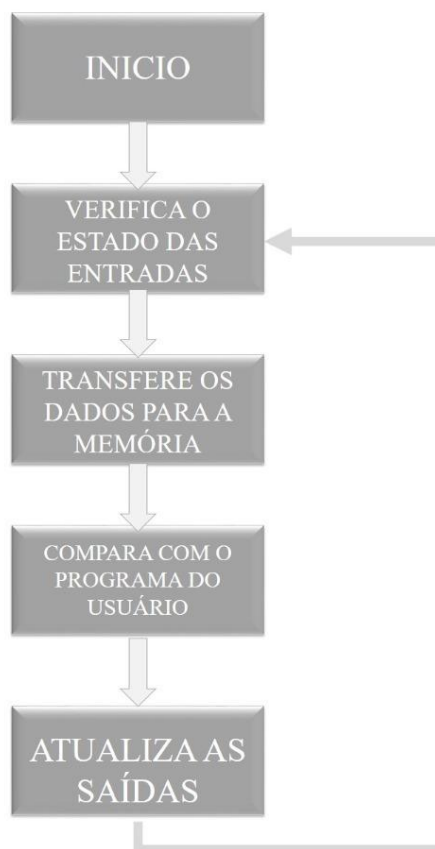
Os componentes de um CLP são:

- Fonte de alimentação: Converte a tensão da rede de 110 ou 220 VCA em +5VCC, +12VCC ou +24VCC para alimentar os circuitos eletrônicos, as entradas e as saídas;

- Unidade de processamento: Também conhecida por CPU, é composta por microcontroladores ou microprocessadores;
- Bateria: Utilizada para manter o circuito do relógio em tempo real. Normalmente são utilizadas baterias recarregáveis do tipo Ni – Ca;
- Memória do programa supervisor: O programa supervisor é responsável pelo gerenciamento de todas as atividades do CLP. Não pode ser modificado pelo usuário e fica normalmente em memórias do tipo PROM, EPROM, EEPROM;
- Memória do usuário: Espaço reservado ao programa do usuário. Constituída por memórias do tipo RAM, EEPROM ou FLASH-EPROM. Também pode-se utilizar cartuchos de memória, para proporcionar agilidade e flexibilidade;
- Memória de dados: Armazena valores do programa do usuário, tais como valores de temporizadores, contadores, códigos de erros, senhas, etc. Nesta região se encontra também a memória imagem das entradas – a saídas. Esta funciona como uma tabela virtual onde a CPU busca informações para o processo decisório.

O CLP funciona em ciclos, sempre verificando as entradas e controlando as saídas, como mostrado na figura 02.

Figura 02: Esquema funcionamento CLP



Fonte: Próprio autor

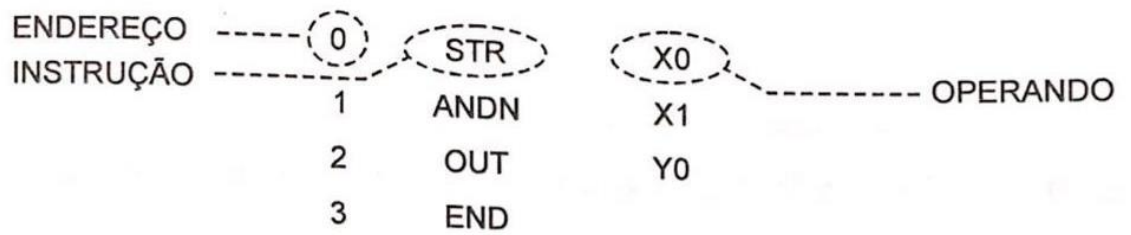
2.5 Linguagens

Em agosto de 1992 foi criada a Norma IEC 61131 que define padrões e fornece metodologias de construção de lógicas de programação, comunicação entre outras coisas para CLP e dentre essas normas está a 61131-3 que define as linguagens de Programação.

A norma IEC 61131-3 define cinco linguagens de programação que são:

- ST (*Structured Text* ou Texto Estruturado);

Figura 03: Texto estruturado



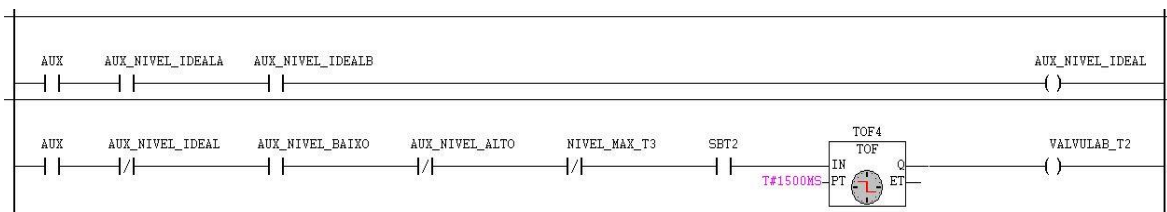
Fonte: Automação aplicada, 2002.

- IL (*Instruction List* ou Lista de Instruções);

Y0:=X0 AND NOT X1

- LD (*Ladder Diagram*- Linguagem Ladder);

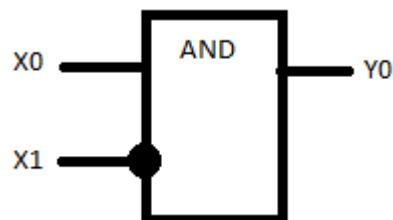
Figura 04: Linguagem Ladder



Fonte: Próprio autor

- FBD (*Function Block Diagram* ou Diagrama de Blocos);

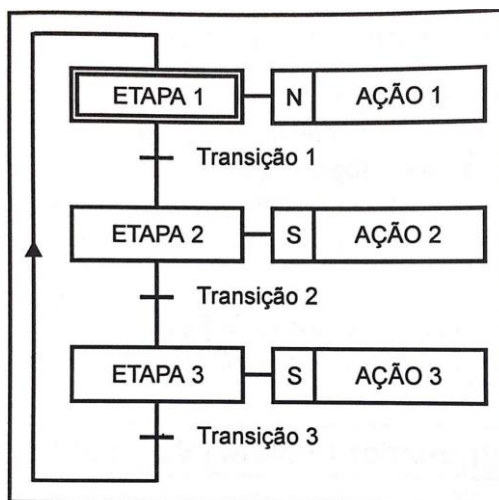
Figura 05: Diagrama de blocos



Fonte: Próprio autor

- SFC (*Sequential Flow Chart* ou Diagrama de Fluxo).

Figura 06: Diagrama de Fluxo



Fonte: Automação aplicada, 2002.

As linguagens se dividem em linguagem gráfica que são a LD e a FBD, linguagem textual que são ST e IL e a linguagem SFC que é normalmente considerada gráfica, mas permite programação textual.

Dentre as linguagens listadas a mais comumente encontrada é a LD, devido a sua facilidade de interpretação e sua semelhança com os antigos esquemas elétricos – contatos e bobinas. Essa semelhança facilitava a compreensão dos engenheiros e técnicos acostumados com os sistemas de controle a relés .

A linguagem comumente utilizada na programação de CLP é a LD. Essa linguagem é muito simples e procura reproduzir os diagramas elétricos utilizados pelos técnicos mais antigos. O objetivo dessa linguagem foi evitar uma grande quebra de paradigma, facilitando a aceitação do produto no mercado.

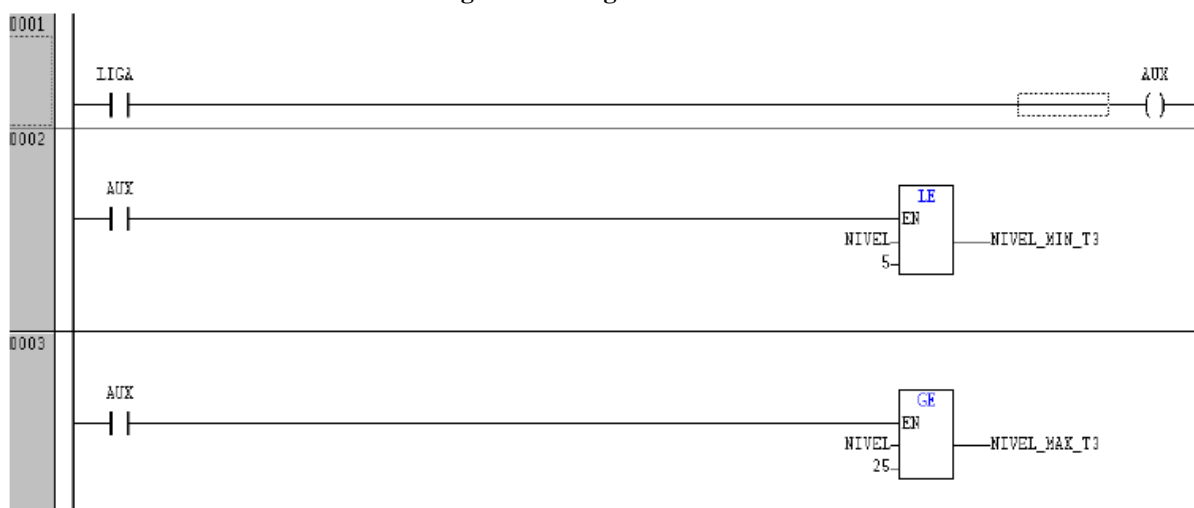
O diagrama de contatos (LD) consiste em um desenho formado por duas linhas verticais, que representam os polos positivo e negativo de uma bateria, ou fonte de alimentação genérica. Entre as duas linhas verticais são desenhados ramais horizontais que possuem chaves, que podem ser normalmente abertas ou fechadas, representando o estado das entradas do CLP.

As instruções básicas da linguagem estão evidenciadas na Tabela 01 e esquema na figura 07.

Tabela 01: Instruções básicas da linguagem Ladder

INSTRUÇÃO	REPRESENTAÇÃO
Contato normalmente aberto - NA	
Existe continuidade lógica quando o estado da variável associada é 1.	- -
Contato normalmente fechado - NF	
Existe continuidade lógica quando o estado da variável associada é 0.	- / -
Bobina	
O estado lógico da bobina depende da continuidade lógica da sua linha.	
Se houver continuidade, o estado lógico da bobina será 1 (bobina energizada), caso contrário será zero (bobina desenergizada).	-()-
Bobina inversa	
Quando aciona, esta se desenergiza.	-(I)-
Bobina de Rearme (Set) ou Retenção	
Entra em estado ativo quando há continuidade lógica da linha e permanece neste estado até o sinal de Desarme.	-(S)-
Bobina de Desarme (Reset)	
Entra em estado desativado quando há continuidade lógica da linha e permanece neste estado até o sinal de Rearme.	-(R)-
Contato sensível à borda de subida	
Quando fechado permanece no estado fechado durante um ciclo completo de varredura do CP. Após esse ciclo, o contato volta a ficar desativado	- P -
Contato sensível à borda de descida	
Equivalente ao anterior quando desenergizado, assim permanecendo durante uma varredura	- N -

Figura 07: Diagrama Ladder



Fonte: Próprio autor

2.6 Arduino

O Arduino é um dispositivo de programação aberta, que se assemelha a um computador. Pode ser também comparado a um CLP, pois deve-se programar suas entradas e saídas para responderem aos outros dispositivos que podem ser conectados.

Uma definição apresentada para arduino é:

“Arduino é uma plataforma *open-source* de prototipagem eletrônica com *hardware* e *software* flexíveis e fáceis de usar, destinado a artistas, *designers*, *hobbistas* e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos.” Rayse kiane, 2019

O dispositivo é muito usado por entusiastas da automação, pois é de fácil compreensão e montagem.

2.7 Sensores

Os sensores são dispositivos capazes de transformar uma grandeza física em uma grandeza elétrica. Estes dispositivos são os que fazem a automação acontecer, pois através deles pode-se observar o que acontece em cada processo e podem ser considerados, fazendo uma analogia com o ser humano, os sentidos que podemos observar. Através desses dispositivos é possível tomar ações baseadas, em informações concretas. De acordo com Rosário, um sensor pode ser definido como um

“Transdutor que altera a sua característica física interna devido a um fenômeno físico externo – presença ou não de luz, som, gás, campo elétrico, campo magnético, etc.” (Rosário, 2005)

2.8 Atuadores

Os atuadores de um sistema são uma parte fundamental para uma boa execução de um projeto. Eles são considerados os operadores do sistema, pois executam as atividades comandadas pelo CLP. São estes dispositivos que transformam os pulsos elétricos comandados pelo CLP em ações que modificam o sistema.

Um exemplo de atuadores, que são utilizados neste projeto, são as válvulas solenoides que abrem ou fecham de acordo com o estado do sistema.

A válvula solenoide é uma válvula eletromecânica controlada. É composta por duas partes principais, a válvula e a bobina solenoide. O esquema de funcionamento é simples, quando excitada por corrente elétrica é gerado um campo elétrico no solenoide onde atrai o êmbolo e abre o diafragma. Existem dois tipos de válvulas, as do tipo normalmente aberta, que quando desligadas permitem a passagem de líquidos e as do tipo normalmente fechadas que quando desligadas não permitem a passagem de líquidos.

2.9 Sistemas Supervisórios

O processo de automação necessita de *softwares* para gerenciamento e execução das tarefas, para atender essa necessidade foi desenvolvido o sistema supervisório, conhecido como SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition* ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados) que visa à interação do usuário com o chão de fábrica.

O sistema mostra os dados obtidos pelos sensores através da IHM para que o operador possa tomar as decisões a partir dos dados analisados. Esses dados, geralmente são mostrados na sala de supervisão, ficam armazenados em um banco de dados, para que caso seja necessário possam ser analisados.

3. METODOLOGIA

Para execução do projeto, foi utilizado as instalações do Laboratório de Tecnologias Industriais – TecInd da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP que dispõe de um esquema de tanques acoplados para elaboração de experimentos de automação. Foram usados três tanques em um suporte de madeira, um conjunto com sensores de nível e um CLP didático, modelo DUO da Altus Sistemas de Automação. A linguagem utilizada foi a LADDER, que é exatamente a mesma usada nas indústrias.

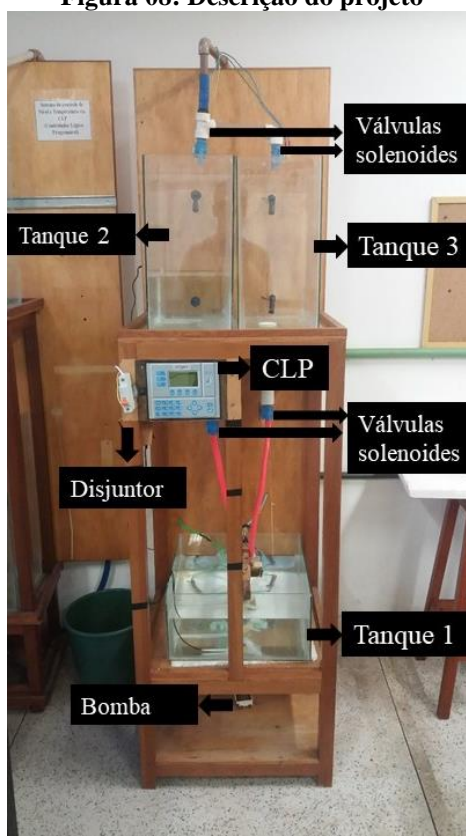
O experimento foi desenvolvido através do método exploratório e em escala laboratorial para análise de dados e funcionamento.

O tipo de pesquisa realizado é de suma importância para o sucesso de uma posterior implementação em grande escala.

3.1 Materiais

Para a execução do projeto foram utilizados três tanques de vidro (figura 09), os dois tanques superiores são equipados com dois sensores de nível para água da marca ICOS (figura 10), modelo LA16M-40, para mostrar o nível mínimo e máximo de cada tanque. Estes são usados como estoque de líquido.

Figura 08: Descrição do projeto



Fonte: Próprio autor

Figura 09: Sensor de nível tipo chave boia



Fonte: Próprio autor

Figura 10: Tanques superiores com sensores ICOS



Fonte: Próprio autor

O tanque inferior, o qual é utilizado para fazer o controle analógico, foi usado um sensor ultrassônico HC-SR04 (figura 11), que mede a distância entre o sensor e o líquido no tanque. O sensor é analógico e faz leituras a cada 100ms.

Figura 11: Sensor ultrassônico HC-SR04



Fonte: Robocore, 2019.

São utilizadas válvulas solenoides da marca Emicol, modelo EVA01 para controle de vazão dos tanques e para controle de direcionamento do líquido. Para esvaziar o tanque inferior foi utilizado uma eletrobomba de água, usada em tanquinhos de lavar roupas, alimentada com uma fonte de tensão de 127Vca, potência de 34 Watts e vazão média calculada de 2,7l/min. A eletrobomba é evidenciada na figura 12.

Figura 12: Eletrobomba de água



Fonte: Próprio autor

Para executar o acionamento dos equipamentos foi desenvolvido uma placa de reles, porque o acionamento de cargas mais pesadas não pode ser feito diretamente pela saída do CLP.

Para executar o controle é utilizado o CLP DUO, da marca Altus, figura 13, o qual realiza a leitura dos sensores de nível (sinal digital) e do arduino (sinal analógico). O arduino foi utilizado para leitura dos sinais emitidos pelo sensor ultrassônico, sinal analógico e faz o tratamento dos dados e envia esses dados ao CLP para que possa efetuar o controle.

Para efetuar a programação do CLP utiliza-se o *software* MasterTool IEC, desenvolvido pela fabricante do equipamento, o qual permite programar a IHM. O *software* pode ser programado em Texto Estruturado (ST), Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC), Diagrama de Blocos Funcionais (FBD), Diagrama Ladder (LD), Lista de Instruções (IL) e Gráfico Contínuo de Funções (CFC).

Figura 13: CLP DUO - Altus



Fonte: Altus 2019

Tabela 02: Custos do projeto

Equipamento	Quantidade	Valor
CLP Duo	1	Disponibilizado pelo laboratório
Sensor HC-SR04	1	R\$15,90
Sensor de nível chave boia	4	Disponibilizado pelo laboratório
Válvula solenoide	4	R\$88,00
Arduino UNO	1	Disponibilizado pelo autor
Disuntor	1	R\$15,00
Tanque	3	Disponibilizado pelo laboratório
Placa de reles	1	Disponibilizado pelo laboratório
Eletrobomba de água	1	Disponibilizado pelo laboratório
Fonte 24Vcc	1	Disponibilizado pelo laboratório
TOTAL	18	R\$118,90

3.2 Montagem

Para execução do projeto foi utilizado três tanques de vidro, dispostos em dois níveis diferentes. Na bancada superior ficaram alocados dois tanques superiores, utilizados como reservatório de líquidos e na bancada inferior ficou um tanque maior onde é realizado o controle preciso do líquido. Os tanques dos reservatórios são controlados por 2 sensores tipo chave boia, como mostrado na figura 10, em cada tanque. O objetivo desses sensores é monitorar o nível para que não exceda o máximo ou o mínimo estipulado. O tanque principal localiza-se 60cm abaixo dos reservatórios, não necessitando de bombas para abastecimento do próprio.

O tanque inferior é o que se deseja controlar o nível e utiliza-se, portanto, o sensor ultrassônico, o qual fica acoplado a uma base de madeira na parte superior do tanque de vidro. O sensor efetua a leitura da distância entre a sua base e líquido, gerando um pulso elétrico proporcional a essa distância medida.

O controle de vazão foi feito através das válvulas solenoides inferiores, as quais se localizam abaixo dos tanques superiores, possuem como função o escoamento do líquido contido nos tanques, somente são acionadas caso o nível mínimo dos tanques dos reservatórios não esteja acionado.

As válvulas superiores, as quais se localizam acima dos tanques superiores, servem para direcionar o fluxo do líquido. Caso um tanque esteja vazio o líquido será direcionado somente para este tanque e caso o tanque esteja cheio o líquido será direcionado ao outro tanque. Se ocorrer de os dois tanques estarem cheios, o sistema é parado até que o problema seja solucionado.

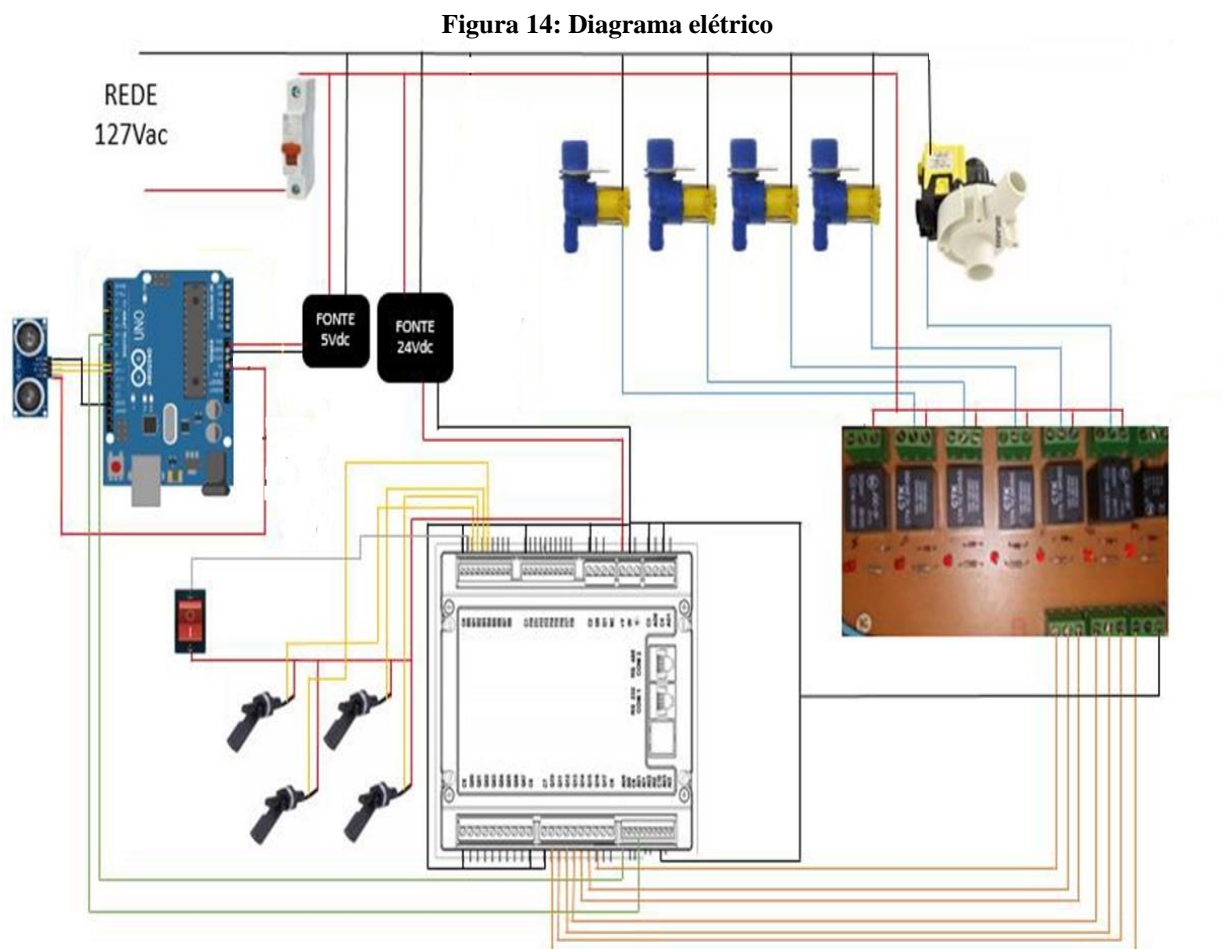
O CLP faz o controle de todo processo, recebendo dados dos sensores de nível dos tanques superiores e do sensor ultrassônico. O CLP apresenta uma IHM configurável, ou seja, neste projeto é possível fazer o *set* do nível desejado, especificado em litros. O CLP faz o cálculo do volume no reservatório inferior através dos dados registrados pelo sensor. Após o *set* do operador, o CLP executa as ações programadas para chegar ao nível desejado. Quando o valor desejado for inferior ao nível presente, o sistema aciona a bomba para eliminar a água do reservatório, levando a mesma até os tanques superiores. Quando o valor for superior ao nível

presente o sistema abre a válvula solenoide, desde que o sensor de nível mínimo não esteja ativo.

Para programar o CLP foi utilizada a linguagem LD, comumente encontrada nos CLP. A programação é simples e cada ação é tomada com base no nível de *set* do operador.

O arduino é um componente importante no sistema, pois, funciona como um filtro de ruídos e faz a conversão dos dados registrados pelo sensor de nível e remete os dados para o CLP, onde é feita uma nova conversão para leitura dos dados.

Na figura 14 está evidenciado o diagrama elétrico.



Fonte: Próprio autor

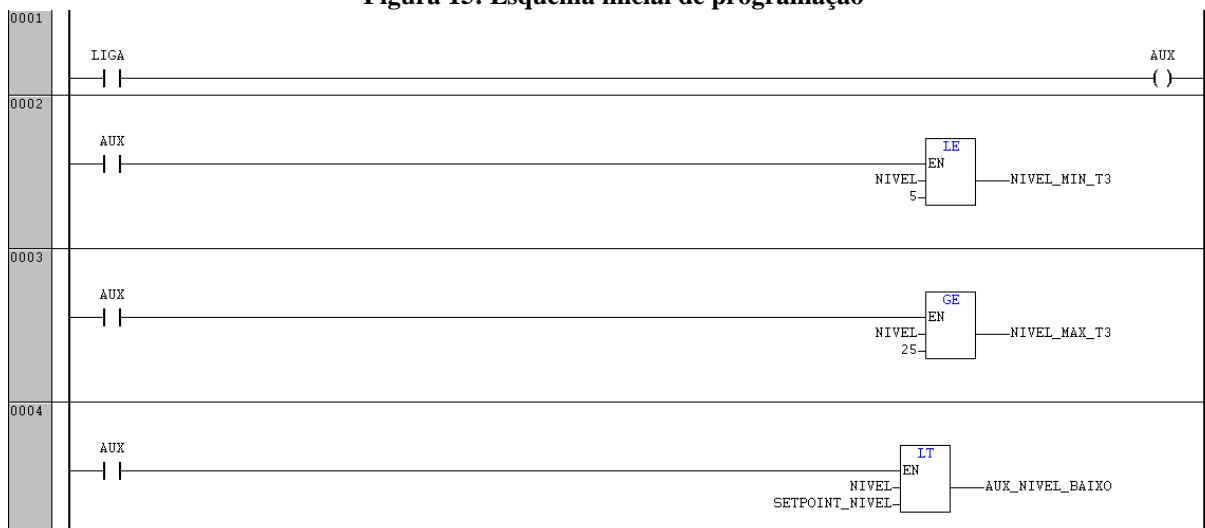
3.3 Programação

Para a execução do projeto foi utilizada a linguagem Ladder.

Nas figura 15 e 16 estão evidenciados o esquema inicial de programação, onde são criadas as variáveis auxiliares de nível mínimo e nível máximo do tanque 3 e nível baixo ou alto se comparado com *setpoint* do operador.

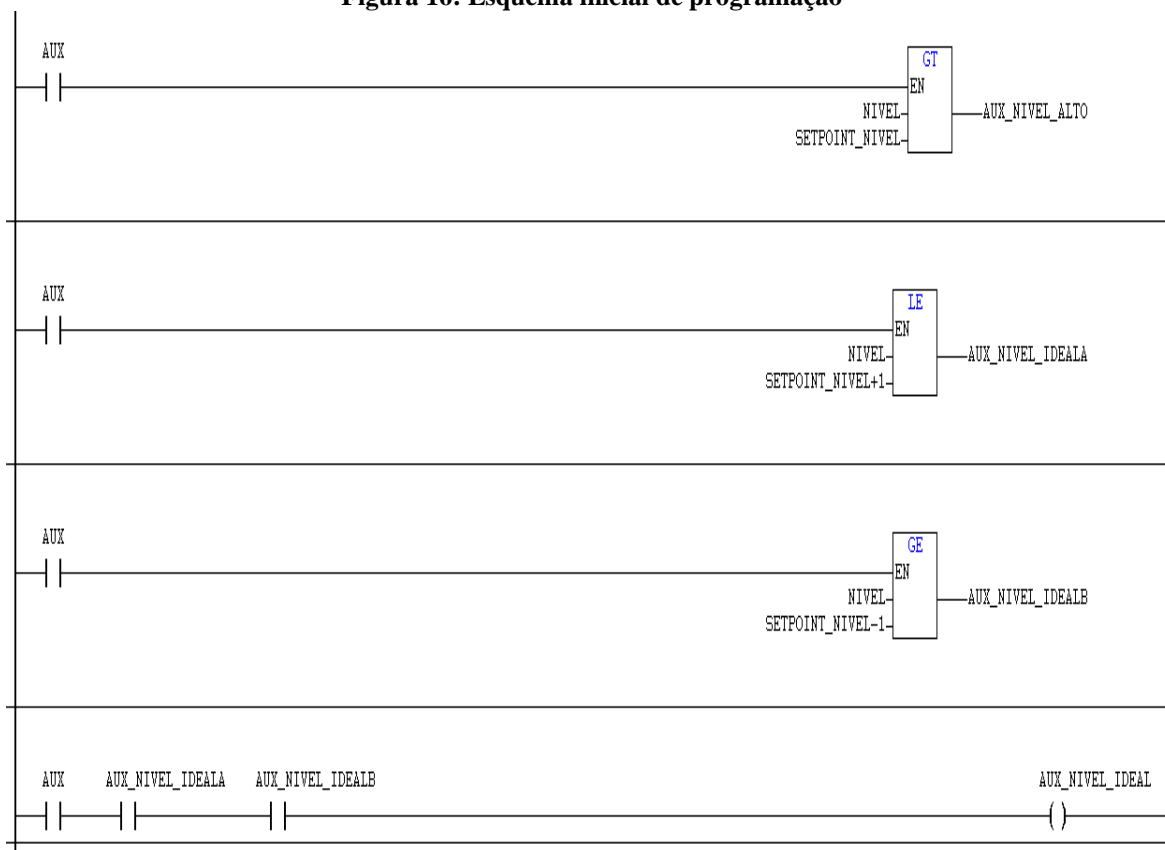
A variável AUX_NIVEL_IDEALA e AUX_NIVEL_IDEALB são variáveis criadas para o sistema funcionar dentro de um intervalo de erro. O erro do sistema está entre aproximadamente 1 litro. Essa variável é necessária porque há um *delay* entre a leitura e a resposta do sistema e isso causa uma certa instabilidade no sistema.

Figura 15: Esquema inicial de programação



Fonte: Próprio autor

Figura 16: Esquema inicial de programação



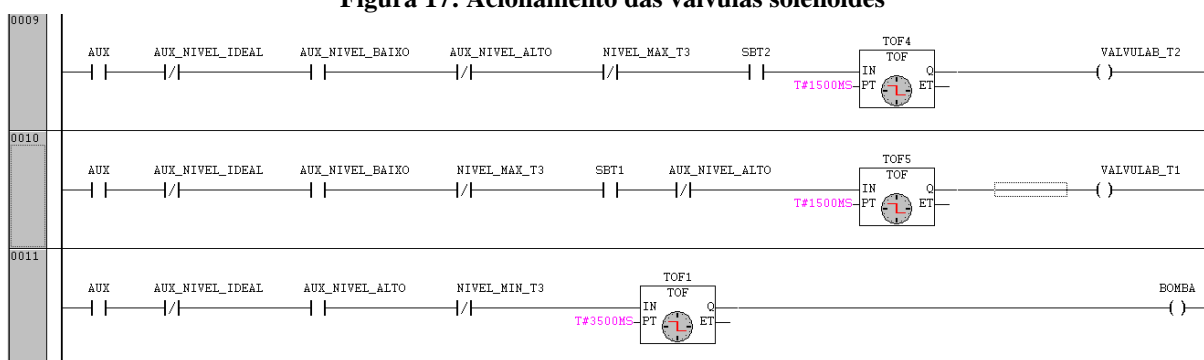
Fonte: Próprio autor

Em seguida (figura 17) é definido o acionamento das válvulas solenoides que controlam a vazão do tanque 1 e do tanque 2. A válvula do tanque 1 somente é acionada se o nível não estiver ideal, não estiver baixo, o nível máximo do tanque 3 não estiver acionado e o sensor de nível mínimo do tanque 1 não estiver acionada. Há também um temporizador para que o sistema funcione por mais 1,5 segundos para corrigir o *delay* de leitura.

O funcionamento da válvula do tanque 2 segue a mesma sequência, diferenciando somente no sensor de nível mínimo do tanque 2.

Na última linha se faz a ligação da bomba, que entra em atuação se o nível estiver acima do set do operador.

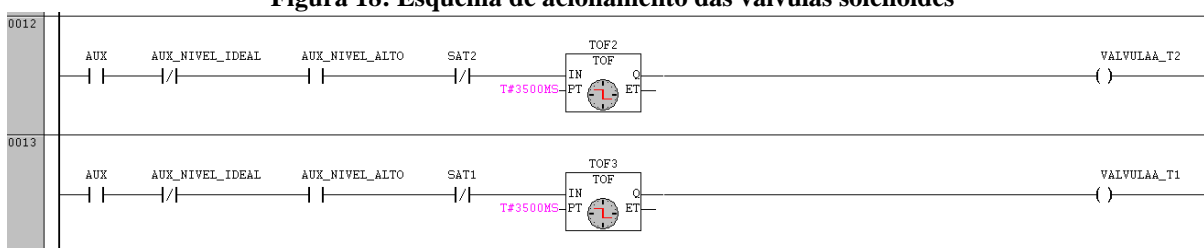
Figura 17: Acionamento das válvulas solenoides



Fonte: Próprio autor

E finalizando o esquema de acionamento das válvulas solenoides superiores (figura 18) que controlam em qual tanque o líquido será armazenado. O tanque 1 é o primeiro a ser enchido e caso o sensor de nível alto seja acionado o líquido é direcionado para o tanque 2.

Figura 18: Esquema de acionamento das válvulas solenoides



Fonte: Próprio autor

3.4 Resultados

A fase final foram os testes de funcionamento do projeto. Nos testes foi possível observar o funcionamento completo da planta e o resultado foi bastante satisfatório. Os vários testes executados possibilitaram o aprimoramento do *software* e a validação final. A planta funcionou de acordo com o planejado. O controle feito pelo CLP foi satisfatório, porém, erros devido a leitura de sensores – utilizando sensores de baixo custo – fizeram com que o líquido no reservatório ficasse entre uma faixa, variando de mais ou menos 1 litro.

Foi possível perceber que o dimensionamento do projeto foi correto. O tanque utilizado de dimensões 39,3 cm de comprimento, 39,2 cm de largura e 19,5 cm de altura, o que resulta em uma capacidade máxima de 30,04 litros. A bomba utilizada tem uma vazão medida de 2,7 l/min, o que resulta em um esvaziamento total do sistema em apenas 11 minutos. Para enchimento total do sistema são necessários 7,5 minutos.

O controle obtido na planta é satisfatório, devido aos equipamentos de baixo custo utilizados. Com a utilização de equipamentos melhores será possível aumentar consideravelmente a precisão, o controle e diminuir o erro.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para projetos futuros há algumas possíveis melhorias de implementação. Na indústria 4.0 há a busca pelo uso de redes de comunicação sem fio, que pode ser implementada em trabalhos futuros para comunicação dos sensores com o CLP. Outra melhoria importante é melhorar os sensores e bombas utilizados para ter um sistema mais eficiente com um erro menor de controle.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> Acesso em 01/11/2019

CITISYSTEMS. **O que é Automação Industrial.** Disponível em <<https://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>>. Acesso em 25 de Agosto de 2019.

Datasheet <<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>> Acesso em 02 de novembro de 2019

GALDINO, J. C. DA S. “Controle Robusto de um Sistema de Tanques Acoplados”, 2011. Disponível: <http://www3.ifrn.edu.br/~jeangaldino/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=poster_congic2011_controle_robusto_jean_parnamirim.pdf>. Acesso: 26 de Agosto de 2019.

GEORGINI, M. *Automação aplicada*. São Paulo: Érica, 2000 Janeiro: LTC, 2007. 347 p.

INVENTTI TECNOLOGIA . **Industria 4.0** <<https://www.inventti.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em 28 de Novembro de 2019

Kiane, R., **Arduino e o seu papel no makespace** <<http://via.ufsc.br/arduino-e-o-seu-papel-no-makerspace/>> Acesso em 02 de dezembro de 2019;

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 347 p.

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. Estados Unidos: Prentice-Hall, 1997. 828 p.

PIMENTA, K. B. 2017, **Notas de aula** – Informática Industrial. UFOP – Ouro Preto.

PETELETRICA. **O que é CLP?**. Disponível em <<http://www.peteletrica.eng.ufba.br/o-que-e-clp/>>. Acesso em 2 de Agosto de 2019.

ROBOCORE < <https://www.robocore.net/loja/sensores/sensor-de-distância-ultrassonico-hc-sr04>> Acesso em 02 de Novembro de 2019

ROSÁRIO, J.M. *Princípios de mecatrônica*. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

SALA DA AUTOMACAO. **CLP**. Disponível em
< <http://saladaautomacao.com.br/clp/>>. Acesso em 25 de Agosto de 2019.

SILVEIRA, P.R.; SANTOS, W. **Automação e controle discreto**. Érica. São Paulo: 1999.

Anexo A

```
#include <Ultrasonic.h>
Ultrasonic ultrasonic(9, 10);
float distância,volume, distânciaanterior = ultrasonic.read();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  barramento.begin();
  barramento.getAddress(sensor, 0);
  pinMode(5,OUTPUT);
}

void loop() {
  delay(200);
  distância = ultrasonic.read();
  Serial.println("Distância em centímetros: ");
  Serial.println(distância);
  volume = (23.75-(distância*2+distânciaanterior)/3)*39.3*39.2/1000;
  distânciaanterior = distância;
  Serial.println("Volume em litros");
  Serial.println(volume);
  delay(500);
  analogWrite(5,volume);
}
```