Universidade de Brasília – UnB
Faculdade do Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

Controle autônomo de um sistema móvel sobre trilhos

Henrique Caracioli da Mata Gouveia

Orientadora: Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa
Coorientadora: Enga. Angélica Kathariny de Oliveira Alves

Brasília, DF
2020

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade do Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

Trabalho de Conclusão de Curso
Engenharia Eletrônica

Controle autônomo de um sistema móvel sobre trilhos

Henrique Caracioli da Mata Gouveia

Orientadora: Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

Coorientadora: Enga. Angélica Kathariny de Oliveira Alves

Brasília, DF
2020

Ficha Catalográfica

Gouveia, Henrique Caracioli Da Mata
Controle autônomo de um sistema móvel sobre trilhos,
Brasília, DF, 2020.
39p., 210 × 297 mm (FGA/UnB, Bacharelado em Engenharia Eletrônica, 2020)
Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade do Gama, Universidade de Brasília

1. Eletricidade Básica	2. Circuitos Eletrônicos
3. Principios de Controle	4. Controlador Lógico Programável
I. FGA/UnB.	II. Engenharia Eletrônica (Graduação)

Referência

Gouveia, H. C. M. (2020). Controle autônomo de um sistema móvel sobre trilhos. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Eletrônica, Faculdade do Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 39 p.

Cessão de Direitos

Autor: Henrique Caracioli da Mata Gouveia

Título: Controle autônomo de um sistema móvel sobre trilhos

Grau: Bacharel em Engenharia Eletrônica

Ano: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

caracioli.henrique@gmail.com

Brasília, DF – Brasil

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade do Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

Controle autônomo de um sistema móvel sobre trilhos

Henrique Caracioli da Mata Gouveia

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Faculdade do Gama - FGA da Universidade de Brasília - UnB, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Eletrônica.

Aprovada por:

Suélia de S. Rodrigues Fleury Rosa

Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

(Orientadora)

Angélica Kathariny de Oliveira Alves

Enga. Angélica Kathariny de Oliveira Alves

(Coorientadora)

Danilo dos Santos Oliveira

Me. Danilo dos Santos Oliveira

(Membro Convidado)

Diogo de O. Costa

Me. Diogo de Oliveira Costa

(Membro Convidado)

Brasília, DF
2020

Agradecimentos

Agradeço aos meus avós, meus pais, minhas irmãs e irmãos e a minha tia que acreditaram em meu potencial e nunca duvidaram de minha capacidade.

Agradeço a Dra. Profa. Loana Nunes Velasco e ao Técnico Josimar Laurentino Serafim por disponibilizarem por empréstimo o equipamento Controlador Lógico Programável Click 02 da WEG, equipamento que faz parte do Laboratório de Eletricidade sem ele não seria possível a realização do projeto.

Também agradeço imensamente a disponibilidade, paciência e compreensão da orientadora Dra. Profa. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa e coorientadora Enga. Angélica Kathariny que ajudaram tornar possível minha ideia e desenvolvimento do projeto proposto.

Resumo

Esse trabalho de conclusão de curso desenvolveu uma bancada experimental para controlar um sistema móvel elétrico sobre trilhos com partidas e frenagens automatizados. O equipamento utilizado para o controle desse projeto é um Controlador Lógico Programável, equipamento eletrônico cada vez mais utilizado na indústria para automatização de controle e controle de variáveis de processo da fabricante WEG, modelo click 02. Todo o projeto da bancada consiste em integrar o sistema móvel controlado por um CLP, com um sistema de sinalização que informa instantaneamente a posição da locomotiva elétrica, alimentados individualmente. No projeto temos o painel onde se encontra os sistemas de alimentação, sinalização e o CLP. E temos a bancada onde se encontra o sistema móvel sobre trilhos e os sensores de posição da locomotiva elétrica. O desenvolvimento do trabalho consistiu em realizar uma programação em linguagem *ladder* que atenda as especificações do projeto, testes de bancada físico e com controle via software. Para validação dos testes e das simulações é utilizado o software Clic02 Edit fornecido pelo fabricante. Esse projeto se tornou uma ferramenta útil para a aplicação de conhecimentos acerca do funcionamento de circuitos que utilizam CLP.

Palavras-chaves: Controlador Lógico programável, Linguagem Ladder, Controle digital, sinalização por domínio.

Abstract

This course completion work developed an experimental bench to control a mobile electrical rail system with automated starting and braking. The equipment used to control this project is a Programmable Logic Controller, electronic equipment increasingly used in the industry for the automation of control and control of process variables from the manufacturer WEG, model click 02.The entire project of the bench consists of integrating the mobile system controlled by a PLC, with a signaling system that instantly informs the position of the electric locomotive, powered individually. In the project we have the panel where the power, signaling and PLC systems are located. And we have the bench where the mobile rail system and the electric locomotive's position sensors are located.The development of the work consisted of performing a ladder language programming that meets the project specifications, physical bench tests and with software control. For validation of tests and simulations, the Clic02 Edit software provided by the manufacturer is used. This project became a useful tool for applying knowledge about the operation of circuits that use PLC.

Key-words: Controlador Lógico programável, Linguagem Ladder, Controle digital, sinalização por domínio.

Sumário

1 Introdução. 1

1.1 Motivação. 3

1.2 Justificativa. 3

1.3 Objetivos. 3

1.3.1 Objetivo Geral. 3

1.3.2 Objetivos Específicos. 4

2 Referencial Teórico. 5

2.1 Controlador lógico programável. 5

2.2 Linguagens de Programação. 8

2.3 Software e conjunto de instruções. 9

2.3.1 Software. 9

2.3.2 Conjunto de instruções. 11

2.3.3 Inserção de dados no CLP através do software. 12

3 Materiais e métodos. 13

3.1 Painel Geral e Bancada. 13

3.2 Sistema Móvel. 14

3.3 Alimentação. 15

3.4 Sistema de Sinalização. 19

3.5 Simulações e testes 21

4 Resultados e Discussões. 27

4.1 Movimentos determinado pelo operador. 27

4.1.1 Movimento anti-horário. 27

4.1.2 Movimento horário. 29

4.1.3 Lógica de emergência. 30

4.2 Simulação. 30

4.2.1 Modo *ladder*. 30

4.2.2 Modo Teclado. 32

4.3 Experiências adquiridas. 35

5 Conclusão 37

Lista de Figuras

2.1 Arquitetura geral de um CLP contendo as variáveis de entradas, alimentação, comunicação, arquivos de programa, arquivos de dados, unidade central de processamento e variáveis de saídas. Fonte com adaptações: [1]. 5

2.2 Ciclo de operação de um CLP, com sinal de entrada, execução do programa, diagnostico e comunicações e por fim resultados na saídas. Fonte com adaptações: [2]. 7

2.3 Controlador Lógico Programável, modelo Clic 02, CLW-02/20HR-A da Weg. 7

2.4 Linguagem *ladder* com um comando simples de entrada e acionamento de uma saída. 9

2.5 Tela inicial do software Clic 02 Edit com a versão utilizada para programar o CLP. 10

2.6 Conexão do cabo RS232. Fonte Autor 10

2.7 Entrada digital I conectado a Saída digital Q. 11

2.8 Marcadores Auxiliares. Fonte:Autor 11

3.1 Vista frontal da bancada com a planta continua, painel de sinalização, painel de alimentação e painel de controle. 13

3.2 Locomotiva elétrica com dois imãs fixados em sua estrutura. 14

3.3 Circuito elétrico da ponte retificadora de onda completa, com transformador abaixador de tensão, ponte retificadora e regulador de tensão. 15

3.4 Painel de Alimentação com dois trafos abaixadores de tensão, duas pontes retificadoras de tensão de onda completa e dois reguladores de tensão LM 2596. 18

3.5 Projeto impresso da placa de fenolite para o ponte retificadora de onda completa. 19

3.6 Locomotiva com seus imãs atuando os sensores *reed switch* 19

3.7 Painel de sinalização, com as divisões de domínio A, B, C, D e subdomínios A, B, C e D. 20

3.8 Circuito elétrico com alimentação, 13 sensores *reed switch*, seis resistores, seis leds do subdomínio A e um led do domínio A. 21

3.9 Circuito elétrico com alimentação, 16 sensores *reed switch*, oito resistores, oito leds do subdomínio B e um led do domínio B. 22

3.10 Circuito elétrico com alimentação, 14 sensores *reed switch*, sete resistores, sete leds do subdomínio C e um led do domínio C. 23

3.11 Circuito elétrico com alimentação, 15 sensores *reed switch*, sete resistores, sete leds do subdomínio D e um led do domínio D. 24

3.12 Circuito elétrico do comando de emergência com alimentação, contato I3 do CLP, um resistor e um led. 25

3.13 Teste de entradas e saída, utilizando a linguagem *ladder* e o simulador de ferramenta de entrada. 25

3.14 Teste de entradas e saída, utilizando marcadores auxiliares, utilizando a linguagem *ladder* e o simulador de ferramenta de entrada. 26

3.15 Teste de entradas e saída, utilizando marcadores auxiliares, utilizando a linguagem *ladder* e o simulador de ferramenta de entrada. 26

4.1 Lógica anti-horária. 28

4.2 Lógica horária. 29

4.3 Lógica emergência. 30

4.4 Modo I1 Ligado. 31

4.5 Modo I1 Desligado. 31

4.6 Modo I2 ligado. 31

4.7 Modo I2 Desligado. 32

4.8 Modo I3 Acionado. 32

4.9 Modo Teclado I1 Acionado. 33

4.10 Modo Teclado I1 Desligado. 33

4.11 Modo Teclado I2 Acionado. 34

4.12 Modo Teclado I2 Desligado. 34

4.13 Modo Teclado I3 acionado. 35

Lista de Símbolos, Nomenclaturas e Abreviações

ANEEL	–	Agência Nacional de Energia Elétrica
Led	–	Diodo Emissor de Luz
CLP	–	Controlador Lógico Programável
VLT	–	Veiculo Leve sobre Trilhos
NA	–	Normalmente Aberto
NF	–	Normalmente Fechado
ms	–	Mili Segundos
mF	–	Mili Faraday
uF	–	Micro Faraday
CPU	–	Unidade Central de Processamento
IHM	–	Interface Homem Máquina
PID	–	Proporcional, Integral e Derivativo
GPS	–	*Global Position System*
CNC	–	Comandos Numéricos Computacionais
PLC	–	*programmable logical controller* - Controlador Lógico Programável
VAC	–	*Voltage Alternating Current* - Tensão de Corrente Alternada
VDC	–	*Voltage Direct Current* - Tensão de Corrente Contínua
A	–	Amperes
R	–	Resistência
V	–	Volts
W	–	Watts
Ω	–	Ohm
Hz	–	Hertz
Km	–	Quilômetros
Km/h	–	Quilômetros por hora
ST	–	*Structured Text* - Linguagem texto estruturado
IL	–	*Instruction List* - Linguagem Lista de instruções
SFC	–	*Sequential Function Chart* - Linguagem diagramas de funções sequenciais
FBD	–	*Funcion Block Diagram* - Linguagem de diagrama de blocos funcionais
FGA	–	Faculdade do Gama
LEA	–	Laboratório de Eletricidade Aplicada
MDF	–	*Medium Density Fiberboard* - Fibra de média densidade

1 Introdução.

Pode se considerar o surgimento dos primeiros trens atrelados ao período da primeira revolução industrial que ocorreu na Inglaterra no século XVIII. Nesse período se dá ao momento de inovações tecnológicas relacionada a criação da máquina a vapor. Essas máquinas mudaram o modo de produção e junto a elas vieram uma cadeia de mudanças na mentalidade humana junto com o seu cotidiano. Com a necessidade de escoar as produções das primeiras industrias, a primeira máquina que podemos considerar como sendo um veículo sobre trilhos foi criado pelo inventor britânico Richard Trevithick (1771-1833). Criada em 1803 e testada no ano seguinte, era movida a vapor, atingia uma velocidade máxima de 5 Km/h. O controle dela era somente humano, através do aquecimento de sua caldeira [3].

Dez anos após a criação da primeira locomotiva o engenheiro inglês George Stephenson (1781-1848) construiu sua locomotiva a *Blaucher* com aproximadamente 30 toneladas, era composta por 8 vagões [3][4]. Uma curiosidade dessa composição é que em um dos vagões era destinado aos técnicos, pois eles eram os responsáveis pelo controle e uma eventual manutenção nessa máquina.

Por serem mais robustas, fortes, mais espaçosas e com maiores números de vagões, foi inevitável que essas maquinas com o passar do tempo substituíssem os animais a tração. Os anos que sucederam a criação da locomotiva *Blaucher*, mudou se a percepção sobre transporte sobre trilhos, houve melhoria técnicas sobre esse transporte e passou a ser viável transportar pessoas e cargas a longas distâncias, ou seja se tornou uma questão de mobilidade até no meio urbano [5].

Na Áustria em 1883 foi desenvolvida e realizada a primeira viagem utilizando trechos com eletricidade suspensa e locomotivas com propulsão elétrica [6]. No Brasil temos a primeira tração elétrica em um bonde da companhia ferro carril do jardim Botânico entre o teatro lírico da cinelândia e a rua dois de dezembro, no catete em 1892 [7]. Quando se menciona sobre trens com propulsão elétrica, pode-se considerar o Metrô de São Paulo como referência na América latina pois o mesmo está em operação desde meados dos anos 1970 e neste mesmo ano iniciou-se os estudos de controle autônomo. Sendo que na

década de 1980 entrou em funcionamento esse sistema, chamado de operação automática do trem que é utilizado em todas as linhas [8].

Do início da operação até os dias atuais os trens de São Paulo passaram por inovações tecnológica, entretanto seu sistema de controle autônomo é praticamente o mesmo que foi criado na década de 1980. No ano de 2020, em média nos dias uteis foram transportados 1.8 milhões de usuários, no sistema, sendo que o recorde ocorreu em 14 de novembro de 2013 onde o sistema metroviário de são paulo transportou em um único dia 4.3 milhões de usuários [8].

Esses números demostram a importância do sistema metroviário nos grandes centros, e o quanto a sociedade depende desse tipo de transporte. Para esse numero ser alcançado o controle do trens é extremamente importante, pois é ele que determina o tempo de parada nas estações, o tempo de cada viagem e o mais importante, auxilia no conforto e segurança dos usuários desse sistema.

O controle proposto nesse projeto será realizado por um controlador lógico programável (CLP), equipamento eletrônico cada vez mais utilizados na indústria para automatização de controle e variáveis de processo. São equipamentos programáveis que interagem com sensores e atuadores através de ligações elétricas e remotas. Tem como características principal uma resposta boa em tempo real, possibilitando parar o processo imediatamente em caso de emergência [9].

De maneira geral pode ser programado em cinco linguagem distintas, a linguagem utilizada neste trabalho é a programação em *Ladder*, uma linguagem amplamente difundida em ambientes industriais que surgiu originalmente quando começou a substituição dos painéis de relés pelos CLPs, esses painéis se baseiam em comandos com contato aberto, contato fechado e bobinas de saída [10].

Diferente de um computador tradicional, esses tipos de equipamentos são especificadamente preparados para ambientes industriais, pois trabalham em condições de vibração, temperatura elevadas, poeiras e interferência eletromagnéticas [11].

Devida as várias qualidades apresentadas do CLP, este equipamento ira controlar as variáveis relacionada a partida, frenagem, tempo de movimentação e tempo de parada de uma locomotiva elétrica. Essa locomotiva elétrica esta disposta sobe uma bancada que contém sensores de posição, um circuito de trilhos no formato oval, um painel onde estão fixados o CLP, os circuitos de alimentação e o circuito de sinalização.

1.1 Motivação.

Como experiência sou técnico em eletrônica, trabalho na Companhia do Metropolitano do Distrito federal, Metrô-DF a mais de 11 anos. O sistema metroviário do distrito federal é movimentado, regulado e controlado pelos seus empregados e por computadores. Esses sistemas se comunicam através de telecomando, comunicação por rádios e telefones. Todos os dias de trabalho lido com trens e tenho uma certa experiência com esses equipamentos. Dessa configuração é proposto de forma didática neste projeto um controle de uma locomotiva elétrica simulando de maneira real o deslocamento do trem.

1.2 Justificativa.

Este trabalho de conclusão de curso tem como pressuposto a compressão do funcionamento do circuito de controle autônomo de uma locomotiva elétrica. Colocando em prática a aplicação do conhecimento e integração das disciplinas de eletricidade, controle e eletrônica que envolvem automação industrial.

Com o avanço tecnológico da automação industrial e com maiores investimentos em sistemas automatizados, foram desenvolvidos equipamentos e ferramentas que tornaram o trabalho mais produtivo e seguro. Este trabalho busca utilizar e explorar um equipamento modelo CLP, como controlador de uma planta continua, onde irá controlar uma locomotiva elétrica.

Essa bancada é uma ferramenta rica para aplicação de teorias que envolvem o CLP, desenvolvida com grande entusiasmo a estudar novas técnicas de controle e é também totalmente reprogramada.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo Geral.

Projetar uma bancada experimental para movimentar de forma autônoma um sistema móvel sobre trilhos controlado por um dispositivo lógico programável.

1.3.2 Objetivos Específicos.

São objetivos específicos desse trabalho:

- Projetar uma bancada para integrar o trilho do sistema móvel com o sistema de sinalização;
- Projetar um sistema de sinalização para monitoramento da locomotiva;
- Projetar e confeccionar o sistema de alimentação da locomotiva e do sistema de sinalização.

2 Referencial Teórico.

2.1 Controlador lógico programável.

Os CLP's, são computadores que tem como principal característica monitorar os dados de entrada, controlar os dados de saída baseado nas decisões tomadas a partir de seu programa dessa forma permitindo a automação de dados e processos [2].

Esses equipamentos surgiram ao final da década de 1960 e foram se desenvolvendo no decorrer da década de 1970 na indústria automotiva americana afim de substituir os painéis de reles. Sua principal função é relacionada com robustez e flexibilidade de controle de sistemas, reduzindo os custos com o tempo e mão-de-obra quando comparado aos circuitos com reles [12].

Com a utilização do CLP, na automação de processos na fase de projeto, engenheiros e técnicos são capazes de verificar o funcionamento e a correção de falhas, contribuindo dessa forma para a diminuição os custos de implementação [1].

A Arquitetura de um CLP baseia se em conter uma unidade de processamento central (CPU), memória de dados e de programas, variáveis de entrada e de saídas, fonte de alimentação e comunicação como mostrado na figura 2.1 [2].

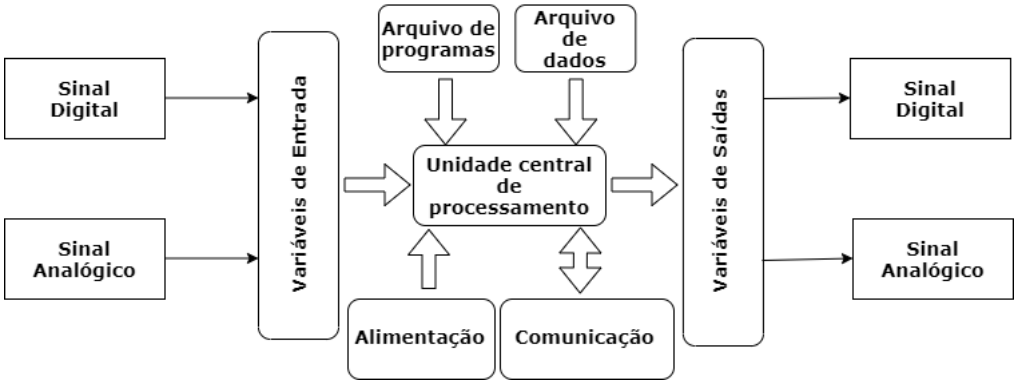

Figura 2.1. Arquitetura geral de um CLP contendo as variáveis de entradas, alimentação, comunicação, arquivos de programa, arquivos de dados, unidade central de processamento e variáveis de saídas. Fonte com adaptações: [1].

Na Arquitetura do CLP, a CPU é o cérebro e responsável por controlar todas as atividades, é projetado de forma que o usuário possa introduzir o programa desejado. Trabalha em conjunto com a memória de dados e de programa, essas armazenam todas as informações pertinentes e necessárias para que um CLP possa funcionar e executar suas funções. A memória não volátil é a responsável pelos arquivos de programas, ou seja, os arquivos que não podem ser acessados pelo usuário. Já a memória volátil é responsável pelos arquivos de dados, esses podem ser modificados e apagados pelo usuário.

As variáveis de entradas são responsáveis por receber os sinais digitais e analógicos que serão processados pela CPU. Alguns exemplos desses sinais analógicos são: Atuadores eletromecânicos e botoeiras. Exemplos de sinais digitais podem ser: sensores como indutivos, capacitivos, ultrassônicos e óticos de infravermelho.

Já as variáveis de saídas, é a parte responsável por trabalhar com o resultado após o processamento da CPU, comunicando o CLP com as cargas diversas, estas podem ser, bobinas, temporizadores, contatores de motores, de iluminação ou de resistências, etc.

Todo a arquitetura necessita de energia para seu funcionamento correto, dessa forma temos a fonte de alimentação, onde sua principal característica é por alimentar e regular as tensões para os níveis adequados de cada CLP.

E por fim para o CLP se comunicar com o mundo externo temos o bloco de comunicação. É considerada a parte responsável para desenvolver o programa em que o CLP se comunica com o usuário. A criação do programa é realizada por interface homem máquina (IHM) ou por um computador pessoal.

Conhecendo a arquitetura do CLP, o próximo passo é entender sua execução interna que compreende quatro etapas distintas, denominada SCAN. A primeira etapa é responsável pela leitura do sinal de entrada, na etapa seguinte é executado o programa, a terceira etapa é responsável por diagnostico e comunicações e por fim temos os resultados nas saídas. Esse ciclo é repetido continuamente enquanto o CLP está em modo de execução. A figura 2.2 demostra o ciclo de operação do CLP.

Conhecendo a arquitetura e sua execução interna podemos elencar algumas de suas aplicações como, acionamento do controle de turbo maquinas, controle de processos e malha de controle como vazão, nível, pressão e temperatura, controle de processo químico, controle de maquinas eletro-hidráulicas, controle de maquinas eletropneumáticas, controle de motores elétricos e bombas, acionamento de esteiras e acionamento de iluminação dentre outras inúmeras aplicações essas podem ser consideradas algumas dentro de ambientes industrias.

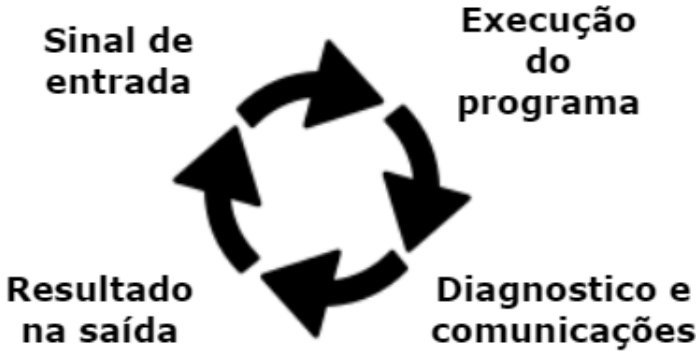

Figura 2.2. Ciclo de operação de um CLP, com sinal de entrada, execução do programa, diagnostico e comunicações e por fim resultados na saídas. Fonte com adaptações: [2].

Para realizar o projeto foram pesquisados alguns fabricantes como Siemens, *Allen Bradley*, *Schneider Electric*, *General Eletric*, *Mitsubishi Eletric*, WEG, Toshiba e OMRON. O modelo do CLP escolhido é o click 02 da WEG, conforme mostrado na figura 2.3 de tecnologia nacional. Na Faculdade do Gama (FGA) em seu laboratório de Eletricidade Aplicada (LEA) existem alguns exemplares deste equipamento ao qual foi utilizado por ter as características necessárias para de aplicação no projeto proposto e pelo o fácil acesso a esse equipamento. Este equipamento possui controle proporcional, integral e derivativo (PID), funções aritméticas (soma, subtração, multiplicação e divisão), maior capacidade de programação, mais expansões, temporizadores, marcadores, contadores, além da possibilidade de ser mestre de uma rede de comunicação *Modbus*.

Figura 2.3. Controlador Lógico Programável, modelo Clic 02, CLW-02/20HR-A da Weg.

O modelo é CLW-02/20HR-A da WEG que tem as seguintes especificações; Alimentação 100-240 VAC, frequência de operação 60 Hz, consumo de potência 12,5W, 12

entradas digitais, 8 saídas digitais que suportam até 8 A, interface IHM, linguagem de programação LADDER, software de programação é o clic 02 edit da WEG e o cabo de programação é o de modelo de porta serial RS232 [13].

2.2 Linguagens de Programação.

Para que o CLP realize determinadas ações é necessário que o usuário realize um programa com uma série de instruções e comando, ou seja, deve ser elaborado um programa que rege as regras claras para a leitura de um CLP de forma padronizada afim de combinar essas instruções [14]. As linguagem mais difundidas para programação em CLP são: linguagem *Ladder*, linguagem de Diagrama de Blocos Funcionais (FBD), texto estruturado (ST), Lista de instruções (IL) e pro fim diagramas de funções sequenciais (SFC). O modelo de CLP utilizado permite utilizar duas linguagens de programação, uma denominada linguagem FBD e outra denominada linguagem *Ladder*.

A Linguagem FDB é uma linguagem que utiliza uma interface de blocos simples e complexos com representação gráfica de fluxo de processos [15].

Essa é uma linguagem gráfica e popular na indústria de processos pelo fato de lidar com a utilização e diferentes blocos de função e funções interligadas. Os blocos de funções desempenham apenas uma função dessa forma é o programador que define as interligações entre os blocos. A reutilização dos blocos básicos é possível devido a capacidade de os blocos de funções serem definidos através de outra linguagem podendo ser criado programas bastantes complexos. Uma linguagem de fácil interpretação e separação entre os níveis de controle [9].

A Linguagem *Ladder* é uma linguagem derivada da época em que os comutadores eram usados para controlar os sistemas, é de representação gráfica das bobinas físicas e contatos. Sua forma de programação é estruturada com linhas horizontais e verticais que simulam o circuito elétrico, tem como elementos entradas digitais e analógicas, temporizadores, contadores, controle PID, funções aritméticas, comparadores e saídas digitais e analógicas [16].

Considerada uma linguagem universal por engenheiros eletricistas e técnicos, sua simbologia se assemelha a de diagramas elétricos, por este motivo é muito utilizada em chão de fabricas em todo o mundo. Seu nome *ladder* se dá devido sua organização das linhas de código se assemelhar a degraus de escada [1].

A linguagem deve ser analisada de cima para baixo e da esquerda para a direita é

representada por duas barras verticais, entre essas barras existem linhas horizontais onde se colocam a sequência de contatos. Toda linha horizontal deve estar ligada a uma linha vertical a fim de se criar o fluxo de energia, sendo que os contatos próximo a linha vertical do lado esquerdo é aonde se inicia a lógica, ou seja logica de entrada, e os contatos do lado direito da barra vertical se finalizam a lógica, ou seja a lógica de saída (bobinas), como mostrado na figura 2.4. A função principal de um programa que utiliza a linguagem *ladder* é controlar o acionamento de saídas através da combinação logica dos contatos de entrada.

Figura 2.4. Linguagem *ladder* com um comando simples de entrada e acionamento de uma saída.

A linguagem *ladder* foi escolhida pelo fato de ser uma linguagem universal e amplamente utilizada na indústria de modo geral. A programação inserida no CLP será responsável por determinar a parada e partida do sistema controlado por tempo na base em segundos. Também é responsável pelo sentido de movimento do objeto, podendo movimentar no sentido horário ou anti-horário, dependendo do comando que foi solicitado. Este também terá um comando de parada e ou emergência que será solicitado caso não tenha necessidade de movimentar o objeto, ou em situação crítica onde se deve parar imediatamente o sistema todo.

2.3 Software e conjunto de instruções.

2.3.1 Software.

A programação do CLP Clic 02 pode ser realizado por intermédio de um software oferecido pelo fabricante, o Clic 02 Edit, esse software pode ser visto na figura 2.5. Foi utilizado nesse projeto o método de edição, lógica *ladder*. O software do Clic 02 inclui as seguintes características: Fácil criação e edição de programa, os programas podem ser salvos em um computador para arquivamento e utilizações futuras, programas podem ser carregados diretamente de um Clic 02 para posterior edição ou arquivamento, permite ao usuário imprimir programas para referência e revisão, no modo de simulação permite ao usuário colocar seus programas em funcionamento e testa-los antes de serem carregados

no controlador, comunicação em tempo real possibilita ao usuário monitorar e forçar entrada/saída durante a operação do Clic 02 durante o modo *RUN* [13].

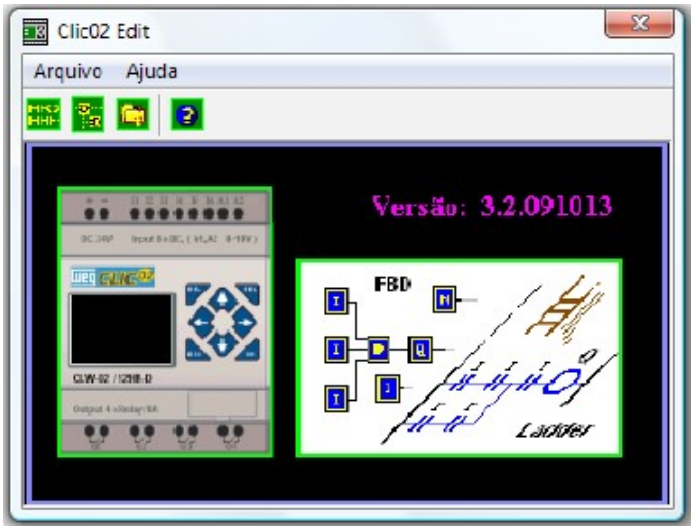

Figura 2.5. Tela inicial do software Clic 02 Edit com a versão utilizada para programar o CLP.

Para utilizar o software é necessário um computador com um sistema operacional Windows 7 ou superior, Processador recomendado Core i5, memoria recomendado 4 GB, resolução da tela 1024 x 768 ou superior, espaço em disco 2 GB e comunicação USB e porta serial [13].

Para realizar a comunicação entre o computador e o CLP é necessário a utilização de um cabo de programação. O cabo utilizado é do modelo RS232, sua conexão consiste em remover a capa plástica do conector do CLP e inserir a ponta do conector do cabo de programação. Em seguida conecte a ponta oposta do cabo a uma porta serial RS232 no computador. Conforme figura 2.6.

Figura 2.6. Conexão do cabo RS232. Fonte Autor

2.3.2 Conjunto de instruções.

2.3.2.1 Entradas/Saídas digitais;

Para as entradas do CLP Clic 02, as variáveis estão associadas ao tipo I (contatos). Para o modelo utilizado são 12 entradas variando de I01 à I0C [13].

Para as saídas do CLP Clic 02, as variáveis estão associadas ao tipo Q (bobinas). Para o modelo utilizado são 8 saídas variando de Q01 à Q08. A figura 2.7 ilustra um contato de entrada I, e um contato de saída Q [13].

Figura 2.7. Entrada digital I conectado a Saída digital Q.

2.3.2.2 Marcadores Auxiliares;

Também conhecidos como relés auxiliares são bits de memória utilizado para controle interno da lógica. Esses bits de memória não são entradas nem saídas físicas, que podem ser conectados a dispositivos externos, eles são apenas utilizados internamente na logica como memorias auxiliares. O modelo possui 63 modelos auxiliares tipo M e N, sendo M1 à M3F e N1 à N3F. Como são bits internos podem serem programados tanto como entradas (contatos) ou saídas (bobinas) digitais. A figura 2.9 exemplifica uma forma de se utilizar marcadores auxiliares [13].

Figura 2.8. Marcadores Auxiliares. Fonte:Autor

2.3.2.3 Temporizadores;

O CLIC-02 possui 31 temporizadores e cada temporizador pode operar de 8 modos distintos, 1 modo de pulso e 7 modos configuráveis de fins gerais. Variam de T1 à T1F,

os temporizadores TE e TF funcionam como retentivos (mantém os valores mesmo em perdas de energia) se a opção “M retentivo” estiver ativo. Cada temporizador possui 6 parâmetros para configuração própria [13].

2.3.3 Inserção de dados no CLP através do software.

Abrindo o software instalado no computador e com o programa criado, para inserir os dados no CLP precisaremos utilizar o cabo de programação RS232 com adaptador USB.

Seleciona no software clic 02 edit a linguagem a ser inserida no clp, no caso de projeto a linguagem escolhida foi a *ladder*. O próximo passo é selecionar o programa criado após ter sido realizado todas as simulações. Com o programa aberto selecionar o ícone operação e dentro do ícone operação, utilizar a função conectar ao CLP, nessa função escolher a porta usb correta que está sendo utilizada e confirmar na função conectar.

Com o computador conectado ao CLP, no software será exibido dois novos ícones, um chamado ler e outro chamado escrever. O ícone chamado ler, ele identifica o código que está salvo na memória do CLP, já o ícone chamado escrever é o ícone responsável para ser realizado o download do novo programa que será salvo na memória do CLP. De forma simples o usuário salvo o novo código no CLP através do ícone escrever e realiza os testes através do ícone chamado ler.

3 Materiais e métodos.

O objetivo dessa bancada experimental é utilizar o CLP como controlador mestre de um sistema sobre trilhos, trabalhando em conjunto com um sistema de sinalização por domínio.

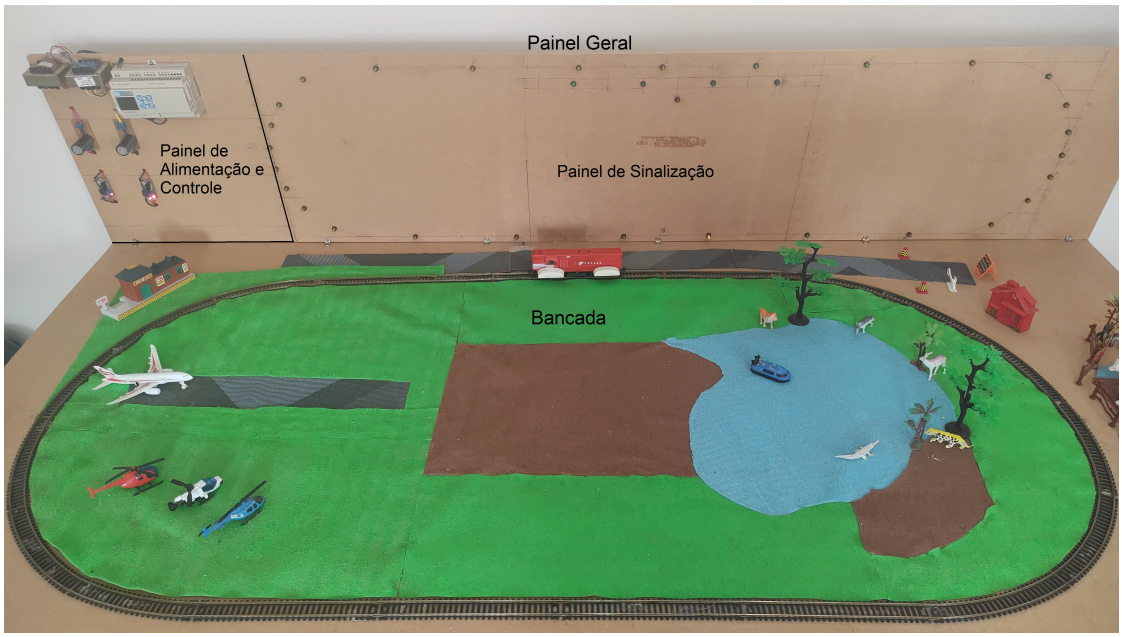

Figura 3.1. Vista frontal da bancada com a planta continua, painel de sinalização, painel de alimentação e painel de controle.

3.1 Painel Geral e Bancada.

A bancada experimental foi pensada, planejada e executada com o intuito de fácil interpretação e compreensão de seu funcionamento. Dessa forma ficou dividida em duas partes: Painel geral e bancada conforme a figura 3.1.

No painel geral contém a parte de sinalização, a parte de alimentação e a de controle. Este painel é do material fibra de média densidade (MDF) e está fixado na bancada e tem as seguintes dimensões 2,2 metros de comprimento x 0,1 metros de largura x 0,42 metro de altura.

No painel foram fixados os leds de posicionamento de domínio, que é a representação macro do sistema de trilhos, definidos em quatro divisões A, B, C e D, Foram fixados os leds de posicionamento de subdomínio, que é a representação micro dentro dos domínios do sistema de trilhos. E o led de emergência, que compõem a sinalização, essa indica aonde está a locomotiva elétrica e se a emergência foi ativada. Estes leds ocupam toda a área central e a área à direita do painel geral.

Também temos um controlador lógico programável CLIC 02 CLW-02/20HR-A, dois trafos abaixadores de tensão, duas placas retificadoras de tensão e dois reguladores de tensão LM 2596 e toda as conexões referentes a esses componentes do projeto. Esses são os componentes responsável pela alimentação e controle do projeto. Todos esses componentes de alimentação ficam na lateral esquerda do painel de geral.

A bancada é do material MDF e tem as seguintes dimensões: 2,2 metros de comprimento x 0,94 metros de largura x 0,1 metros de altura. Na bancada está fixado o circuito de trilhos no formato oval, um trem elétrico sobre os trilhos, os 58 sensores *reed switch* de posicionamento junto com suas conexões, e objetos de decoração da bancada experimental.

3.2 Sistema Móvel.

Foi escolhido o trem elétrico da marca Frateschi, conforme figura 3.2, com alimentação variável entre 2 a 15 VDC, consumo de corrente máximo de 650 mA. Nesse sistema a energia chega ao trilho e é captada pelo trem através de seus rodeiros (rodas do trem). Pelos testes realizado a melhor tensão de operação do trem ficou fixada com 9 VDC, pois esta tensão gera a velocidade ideal para que todos os sensores da planta sejam ativados de forma correta devido a velocidade de locomoção. O circuito férreo tem as seguintes dimensões 1,62 metros x 0,79 metros, está preso sobre a bancada e é alimentado por seu circuito de tensão independente.

Figura 3.2. Locomotiva elétrica com dois imãs fixados em sua estrutura.

3.3 Alimentação.

Este é o bloco responsável por toda a alimentação elétrica da bancada. O CLP o sistema de sinalização e o sistema móvel são alimentados pela tensão da rede, 220 VAC. O sistema de sinalização e o sistema móvel são compostos de um trafo, um circuito retificador de onda completa e um regulador de tensão, para alimentar seus subsistemas.

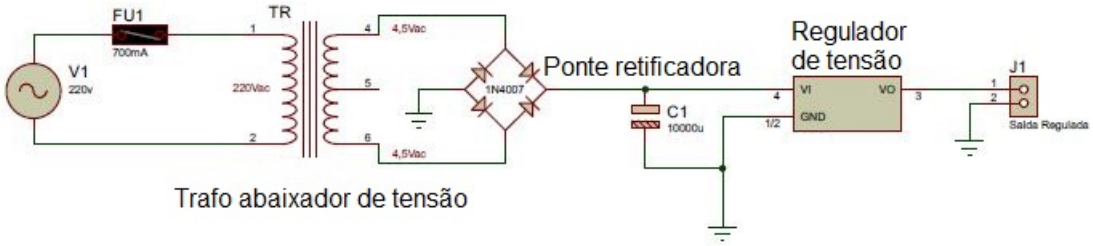

Figura 3.3. Circuito elétrico da ponte retificadora de onda completa, com transformador abaixador de tensão, ponte retificadora e regulador de tensão.

Para esses o sistema de sinalização e sistema móvel foi criado um circuito retificador de onda completa como a figura 3.3, com as seguintes especificações:

- Corrente máxima (IL) 650 mA.
- Frequência de operação (f) 60 Hz.
- Tensão da rede elétrica (V_{in}) é 220 VAC.

Tensão de saída V_{out} é a de maior valor correspondente a 9 VDC. O regulador de tensão escolhido é o LM 2596. Tem como característica suportar uma tensão de entrada variando de 3.2 a 40 VDC e em sua tensão de saída pode ser ajustada entre 1.5 a 35 VDC, dependendo da tensão de entrada, com uma corrente máxima de 2 A. Ele será responsável por garantir que a tensão de saída não oscile e que fique fixa no valor de 9 VDC para o sistema móvel e 3.5 VDC para o sistema de sinalização.

Ondulação máxima permitida é de 5%. Essa ondulação está relacionada diretamente com o fator ripple de oscilação, é a pequena margem de oscilação entre carga e descarga do capacitor de filtro C_1. É nesse estágio que transforma a tensão alternada em tensão continua para a alimentação dos sistemas.

De posse dessas informações foi realizado o seguinte cálculo para determinar o valor do capacitor de filtro C_1.

A Tensão de entrada máxima V_{1max} é dada pela seguinte equação:

$$V_{1max} = V_{in} * \sqrt{2} \tag{3.1}$$

$$V_{1max} = 220 * \sqrt{2} \ \ \text{VAC} \tag{3.2}$$

$$V_{1max} = 311.13 \ \ \text{VAC} \tag{3.3}$$

V_{1max} é a máxima tensão que a rede elétrica envia para a entrada do trafo.

A Tensão de saída máxima V_{2max} é dada pela seguinte equação:

$$V_{2max} = V_{out} * \sqrt{2} \tag{3.4}$$

$$V_{2max} = 9 * \sqrt{2} \ \ \text{VAC} \tag{3.5}$$

$$V_{2max} = 12.72 \ \ \text{VAC} \tag{3.6}$$

V_{2max} é a tensão de saída máxima do trafo.

Tensão na saída da ponte retificadora é o V_L após o V_{2max} ser retificado. Ao final desse processo o sinal de tensão alternada passa a ser um sinal de tensão pulsante.

Tensão do diodo V_d = 0,7 VDC, esse é o valor aproximado de condução do diodo de silício.

$$V_L = V_{2max} - 2 * V_d \ \ \text{(dois diodos conduzem simultaneamente)} \tag{3.7}$$

$$V_L = (12.72 - 1.4) \ \ \text{VAC} \tag{3.8}$$

$$V_L = 11.32 \ \ \text{VAC} \tag{3.9}$$

A tensão de ondulação máxima V_{ondmax} permitida é dada da seguinte maneira:

$$V_{ondmax} = V_L * 0.05 \tag{3.10}$$

$$V_{ondmax} = 11.32 * 0.05 \tag{3.11}$$

$$V_{ondmax} = 0.567 \ \ \text{VAC} \tag{3.12}$$

Com essa tensão de ondulação máxima permitida, realizamos o cálculo do capacitor de filtro C_1.

$$C_1 = \frac{IL}{2 * f * V_{ondmax}} \tag{3.13}$$

$$C_1 = \frac{0.65}{2 * 60 * 0.567} \tag{3.14}$$

$$C_1 = \frac{0.65}{68.04} \tag{3.15}$$

$$C_1 = 9.55 \ \ \text{mF} \tag{3.16}$$

Esse valor de capacitância de 9.55 mF não é comercial, sendo adquirido o capacitor C_1 de valor igual a 10000 uF.

Para a proteção dos circuitos de sinalização foram utilizados dois fusíveis de vidro, um para cada circuito de alimentação, com as seguintes especificações: 250 Vac, 700 mA. Esses fusíveis foram posicionados na entrada da rede de alimentação, antes do primário dos transformadores. A proteção do CLP é realizada internamente por um circuito contra surtos da rede elétrica.

Os diodos escolhidos para as duas pontes retificadoras são da família 1N 4007, por ser de fácil aquisição comercial e por suportar uma tensão de 1000 V e corrente de 1 A.

Os componentes do circuito de alimentação da sinalização têm por especificações um Trafo rebaixador de tensão cuja a entrada é 220 VAC e sua saída 4.5 VAC + 4.5 VAC por

2A, sendo configurado para se ter uma saída no Trafo de 9 VAC. Seu circuito retificador é composto por 4 diodos 1N4007 e um capacitor de 10000 µF por 25V, e por fim um circuito regulador de tensão LM2596, cuja a tensão de saída ficou configurada com 3,5 VDC.

Os componentes do circuito de alimentação da planta continua (alimentação da via férrea) tem por especificações um Trafo rebaixador de tensão cuja a entrada é 220 VAC e sua saída 4.5 Vac + 4.5 VAC por 2A, sendo configurado para se ter uma saída no Trafo de 9 VAC. Seu circuito retificador é composto por 4 diodos 1N4007 e um capacitor de 10000µF por 25V, e por fim um circuito regulador de tensão LM2596, cuja a tensão de saída ficou configurada com 9 VDC.

Os dois sistemas, o de sinalização e o móvel foram criados com componentes idênticos, entretanto com alimentação independentes, a figura 3.4 demostra o circuito de alimentação. Os valores de suas saídas de tensões foram ajustadas em cada regulador de tensão de acordo com a necessidade de cada circuito. Dessa forma a alimentação de um sistema não interfere na alimentação do outro sistema, tendo uma facilidade em realizar um diagnóstico de uma possível manutenção.

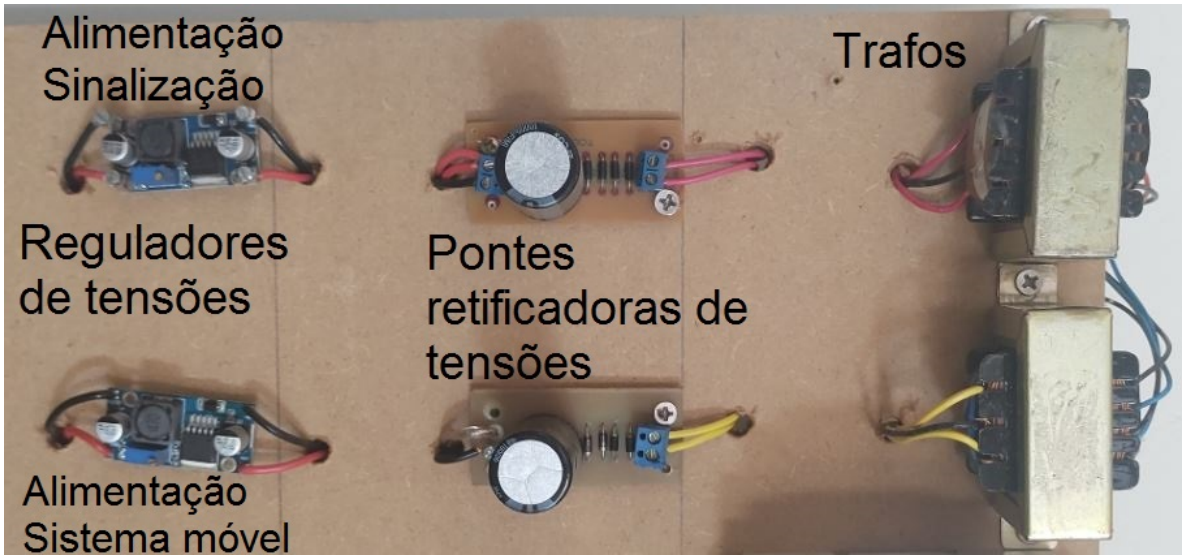

Figura 3.4. Painel de Alimentação com dois trafos abaixadores de tensão, duas pontes retificadoras de tensão de onda completa e dois reguladores de tensão LM 2596.

Os trafos e os reguladores de tensão foram adquiridos e instalados, porem a placa retificadora foi projetado com o auxílio do software Proteus, a partir da especificação acima dos capacitores e diodos, juntamente com o esquema elétrico apresentado na figura 3.2. Dessa forma foi criado o projeto da placa impressa, conforme figura 3.5 e posteriormente foi fabricada duas placas.

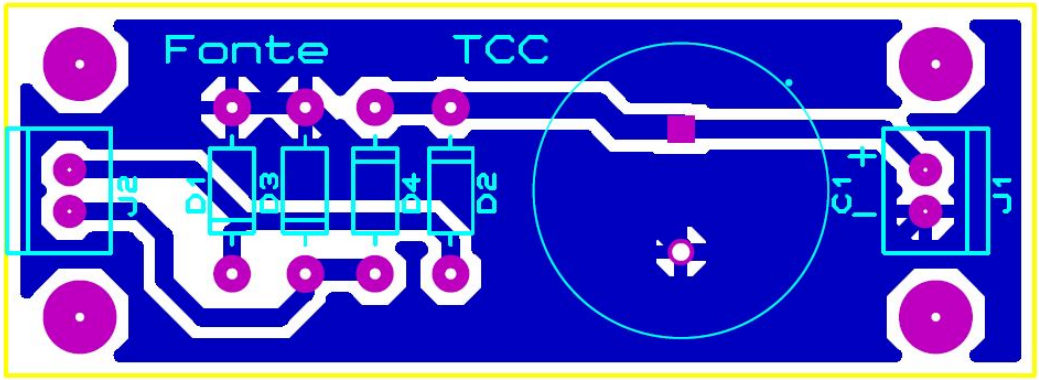

Figura 3.5. Projeto impresso da placa de fenolite para o ponte retificadora de onda completa.

3.4 Sistema de Sinalização.

O circuito de sinalização foi inspirado no sistema já existente no Metrô do Distrito Federal. Esse sistema do Metrô é baseado em domínios, a comunicação é realizada através de telecomando. Dessa forma é possível saber a posição e quantos trens existe no sistema em tempo real.

O sistema de sinalização é acionado de acordo com o movimento da locomotiva. Na lateral interna da locomotiva estão fixados dois ímãs de fluxo magnético permanente. Na base da bancada, do lado interno dos trilhos foram fixados os sensores *reed switch*, conforme mostra a figura 3.6. Quando a locomotiva passa sobre esses sensores, seus ímãs permanentes acionam os mesmos, dessa forma é enviado um sinal para o led do domínio do sensor, juntamente com o led do subdomínio. Fazendo que no painel de sinalização indique aceso os leds de subdomínio e de domínio aonde o sistema móvel se encontra. Dessa forma a planta continua está totalmente coberta, em qualquer posição que a locomotiva esteja e será mostrado no painel de sinalização.

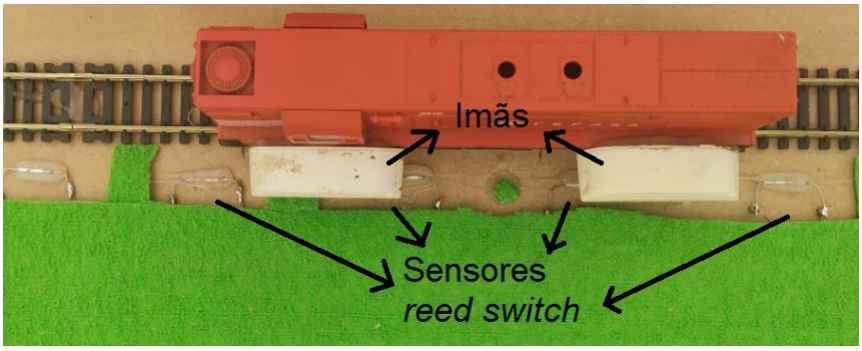

Figura 3.6. Locomotiva com seus imãs atuando os sensores *reed switch*

Este sistema é composto por domínio, subdomínio e emergência. No sistema domínio temos quatro divisões chamada de subdomínio, cada domínio é representado por um led

de cor verde, e os subdomínio são representados por leds de cor amarela. A divisão dos domínios ficou chamado por A, B, C e D e consequentemente temos os subdomínios de A, B, C e D. Onde cada subdomínio ficou representado com as seguintes quantidades de leds: Subdomínio A, seis leds. Subdomínio B, oito leds. Subdomínio C, sete leds. Subdomínio D, sete leds. De tal forma que o objeto móvel fica monitorado em todo o circuito oval da planta continua. Na figura 3.7 temos a ilustração do painel de sinalização.

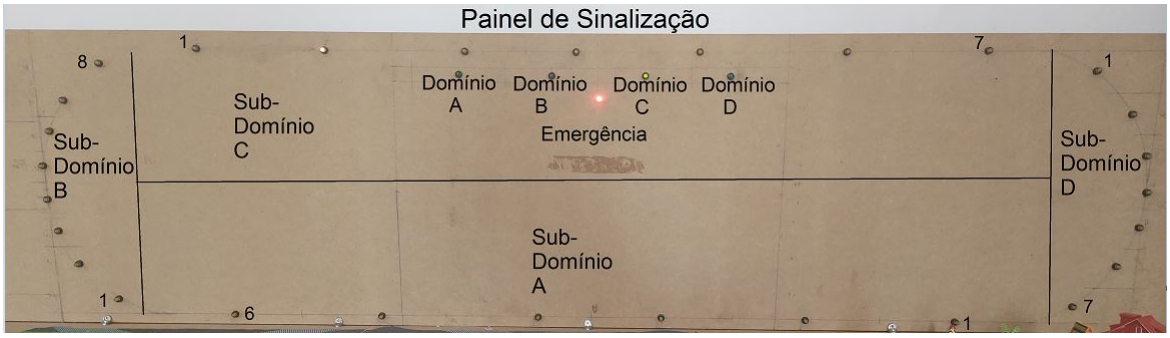

Figura 3.7. Painel de sinalização, com as divisões de domínio A, B, C, D e subdomínios A, B, C e D.

O circuito do domínio A ficou configurado com 13 sensores, seis resistores e sete leds *reed switch* e seu circuito é apresentado na figura 3.8. O circuito do domínio B ficou configurado com 16 sensores, oito resistores e nove leds *reed switch* e seu circuito é apresentado na figura 3.9. O circuito do domínio C ficou configurado com 14 sensores, sete resistores e oito leds *reed switch* e seu circuito é apresentado na figura 3.10. O circuito do domínio D ficou configurado com 15 sensores, sete resistores e oito leds *reed switch* e seu circuito é apresentado na figura 3.11.

O led denominado de emergência é de cor vermelha e indica que o objeto está parado, seu circuito é apresentado na figura 3.12.

Os led's são alimentados pelo circuito de alimentação da sinalização com tensão de 3,5 VDC, e pelo fabricante necessitam de 20 mA de corrente. Dessa forma foi realizado o seguinte cálculo para determinar o valor do resistor:

$$V = R * I \quad \text{Lei de Ohm} \tag{3.17}$$

Manipulando a equação para ficar em função de R, temos:

$$R = \frac{V}{I} \tag{3.18}$$

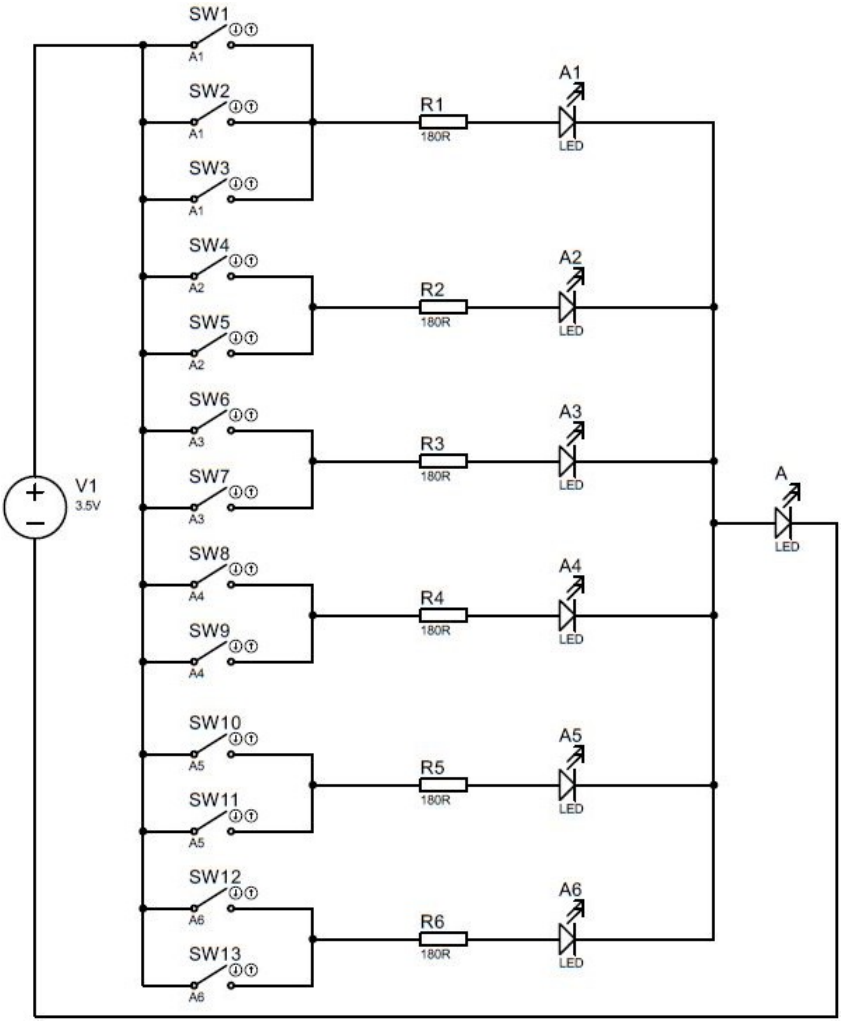

Figura 3.8. Circuito elétrico com alimentação, 13 sensores *reed switch*, seis resistores, seis leds do subdomínio A e um led do domínio A.

$$R = \frac{3.5}{0.02} \tag{3.19}$$

$$R = 175 \ \ \Omega \tag{3.20}$$

Como esse valor de resistência de 175 Ω não é comercial, cada led possui um resistor de valor nominal de 180Ω 1/4W.

3.5 Simulações e testes

Para a realização das simulações desse projeto foram realizados três testes que consiste em:

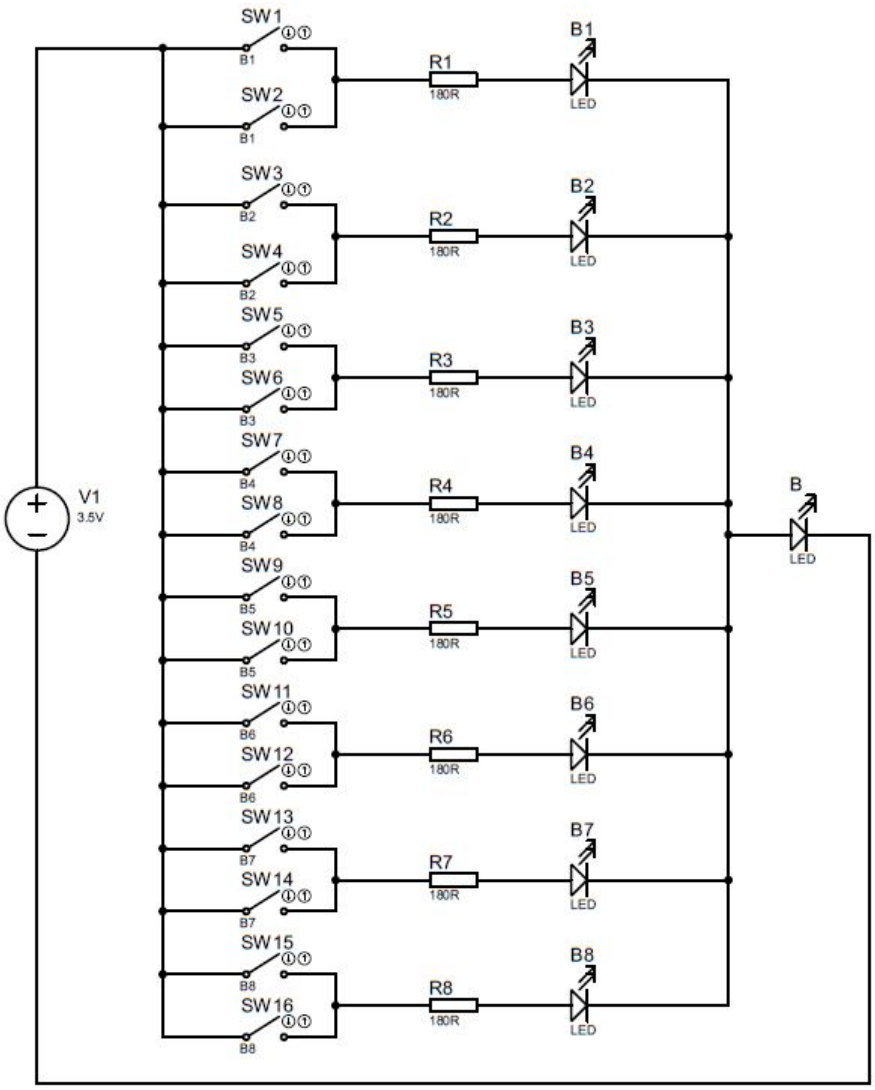

Figura 3.9. Circuito elétrico com alimentação, 16 sensores *reed switch*, oito resistores, oito leds do subdomínio B e um led do domínio B.

O primeiro teste com comandos de duas entradas e uma saída. O circuito criado possui duas entradas I1 contato NA e I2 contato NF, ao final da linha de programação temos uma saída Q1. Acionando o contato o contato I1 também é acionado o contato de selo Q1 é criado um caminho para o sinal passando por I2 e chegando até a saída Q1, energizando todo o circuito. Para desativar esse circuito é necessário atuar o comando de entrada I2, que passar a ser um comando e NA, dessa forma desenergiza toda a linha do sinal elétrico, desligando a saída Q1. Resumindo esse primeiro teste é um teste de ativar e desativar a saída Q1 através dos comandos de entrada I1 e I2. A figura 3.13 ilustra essa simulação e teste.

Afim de se utilizar mais instruções no código, nesse segundo teste foram utilizados os marcadores auxiliares, esses contatos podem ser configurados tanto como entrada quanto como saída, contornando o problema de poucas instruções por linhas, podendo ser gerados

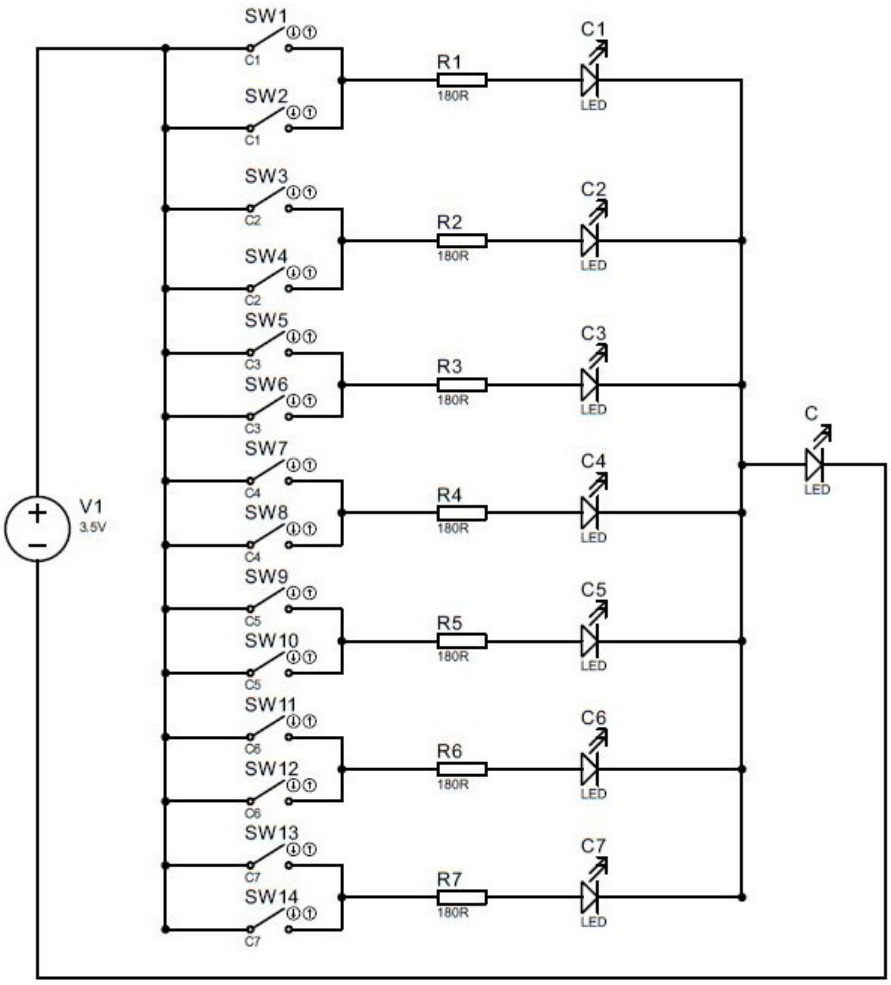

Figura 3.10. Circuito elétrico com alimentação, 14 sensores *reed switch*, sete resistores, sete leds do subdomínio C e um led do domínio C.

em outras linhas de códigos.

A figura 3.14 ilustra como os contatos auxiliares foram utilizados. O primeiro passo foi acionar a entrada I1, criando o percurso do sinal elétrico, passando pelos contatos I2 e I3 NF, até chegar ao primeiro marcador M01 na linha de código 001, note que esse marcador auxiliar ficou configurado como saída. Na linha de código 004, esse mesmo marcador ficou configurado como entrada, fazendo com que o sinal elétrico continue seu percurso passando pelos contatos I4 e I5 NF até chegar ao segundo marcador auxiliar o M02 que está configurado como saída. Na linha de código 005 o marcador auxiliar M02 já se encontra configurado como entrada, levado o sinal elétrico passando pelo I3 NF até as saídas Q01 e Q02. O contato I3 é responsável por desativar o sistema, e os contatos I2, I4 e I5 foram colocados para dar volume as linhas de código e dessa forma utilizar dois marcadores auxiliares. Resumindo esse teste, acionando a entrada I1, aciona os marcadores M01 e M02, que acionam as saídas Q01 e Q02.

O terceiro teste realizado consistiu em utilizar os comandos de entrada e saídas, os

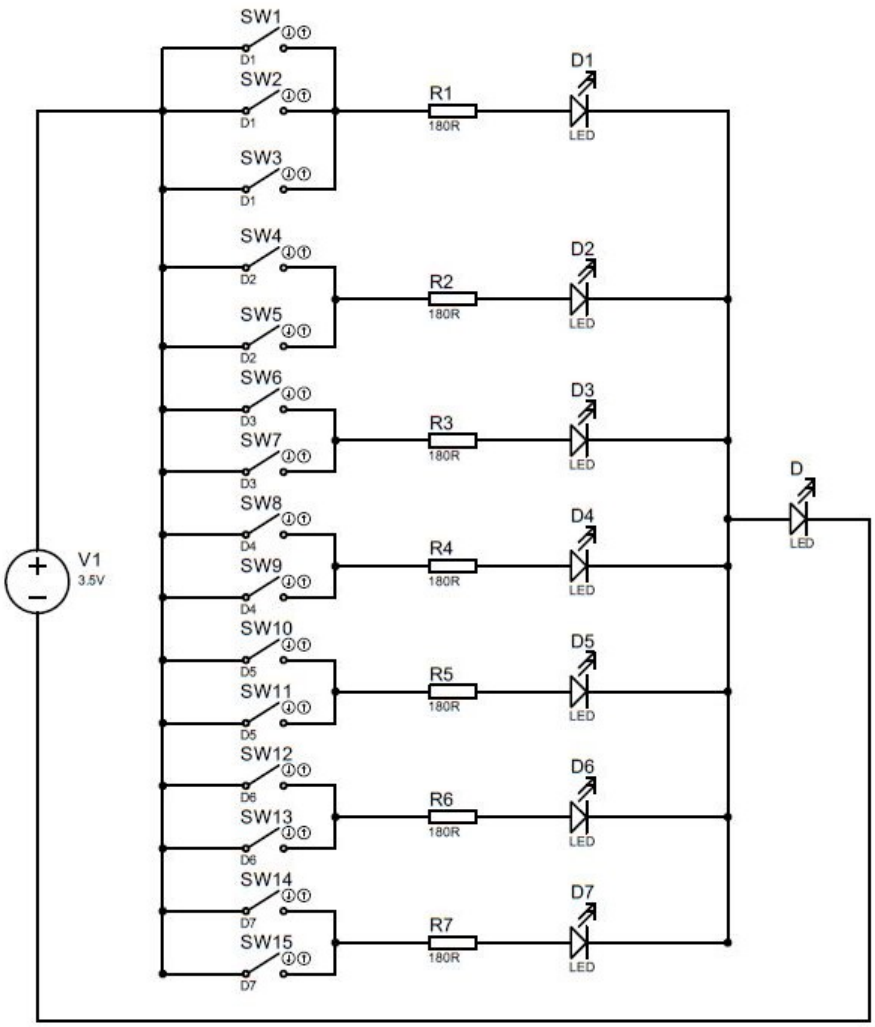

Figura 3.11. Circuito elétrico com alimentação, 15 sensores *reed switch*, sete resistores, sete leds do subdomínio D e um led do domínio D.

marcadores auxiliares ou contato de memorias e a função do temporizador. O temporizador no projeto é a função responsável pelos comandos de movimento e parada da locomotiva. Com essa característica bem definida o algoritmo para o teste e simulação ficou da seguinte maneira.

A lógica do temporizador pode ser observada na figura 3.15. Os comandos de entrada são I1 para ligar e I2 e I3 para desligar. Acionando I1, o contato de memória M01 é energizado, ativando o temporizador T01, esse temporizador inicia a contagem até 5,5 seg, habilitando as saídas Q01 e Q02. Após o período de ativação do temporizador T01, seu contato passa para normalmente aberto, desativando as saídas Q01 e Q02 e ativando o contato de memória M02, que por sua vez ativa o temporizador T02 iniciando sua contagem de por 3,5 seg, esse tempo é o tempo em que as saídas ficam desabilitadas. Finalizando a contagem o processo se reinicia habilitando novamente o temporizador T01, e esse ciclo permanece até que seja desativado acionando a entrada I2 ou I3.

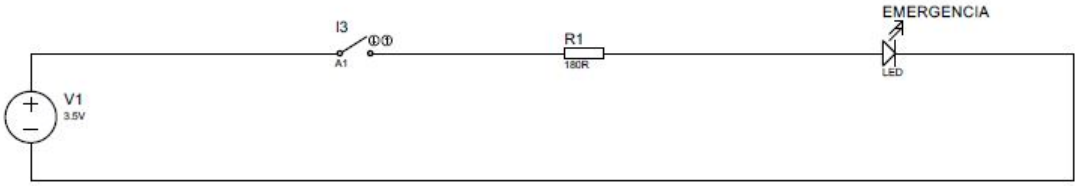

Figura 3.12. Circuito elétrico do comando de emergência com alimentação, contato I3 do CLP, um resistor e um led.

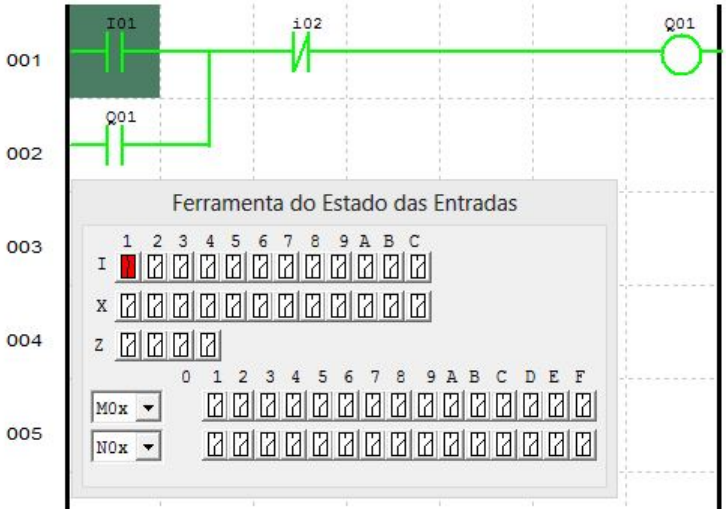

Figura 3.13. Teste de entradas e saída, utilizando a linguagem *ladder* e o simulador de ferramenta de entrada.

No código do projeto foi utilizado o temporizador modo 1, retardo na energização. Esse modo é a que atendia aos requisitos da lógica. Quando habilitado esse modo conta o tempo, parando quando atinge o set *point* de contagem e ligando sua saída. Quando o temporizador é desligado, o valor atual da contagem é zerado e sua saída será desligada também.

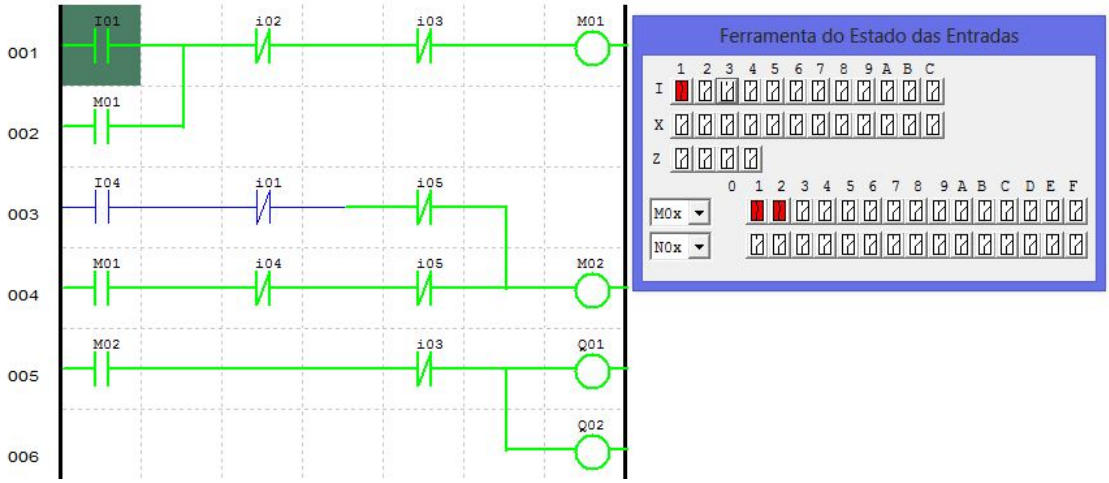

Figura 3.14. Teste de entradas e saída, utilizando marcadores auxiliares, utilizando a linguagem *ladder* e o simulador de ferramenta de entrada.

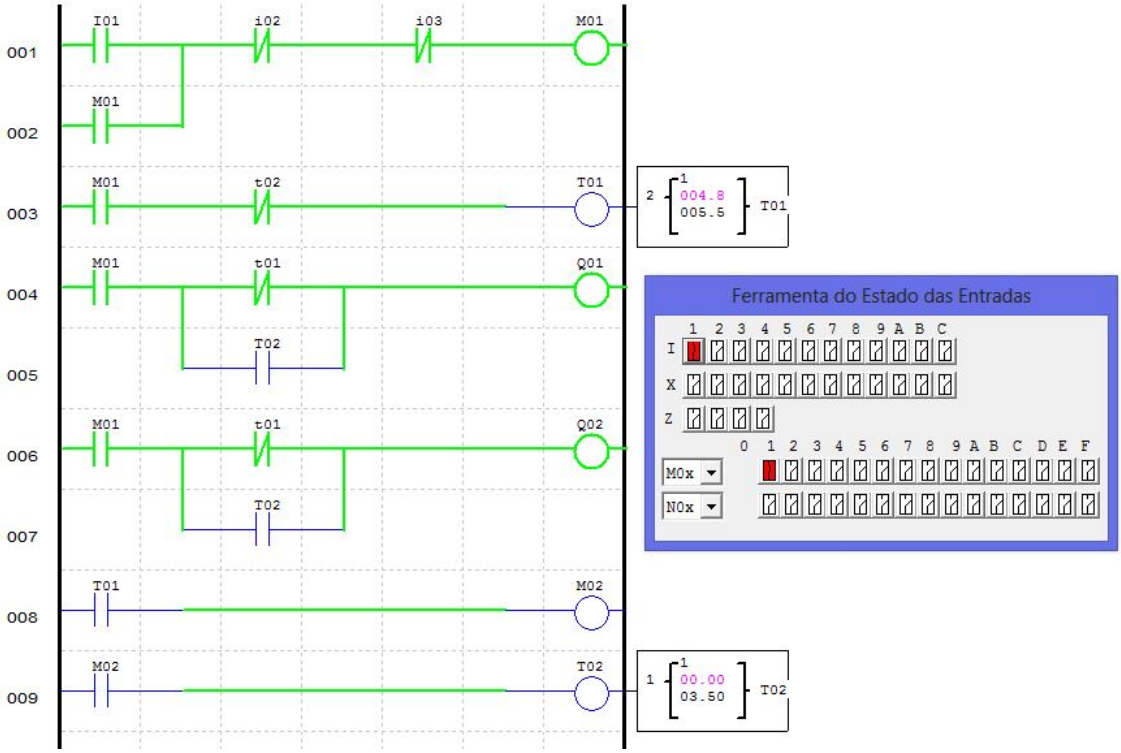

Figura 3.15. Teste de entradas e saída, utilizando marcadores auxiliares, utilizando a linguagem *ladder* e o simulador de ferramenta de entrada.

4 Resultados e Discussões.

4.1 Movimentos determinado pelo operador.

O operador é quem controla o sistema e decide se a locomotiva deve movimentar no sentido horário ou no sentido anti-horário, ele também deve ficar atento para desativar o sistema quando ocorrer alguma situação de emergência. Pelo fato dele ter o total controle dos comandos no CLP.

4.1.1 Movimento anti-horário.

Na programação do CLP para a bancada experimental foram utilizadas as seguintes instruções da linguagem *ladder*; Entradas I1, I2, I3, Saídas Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Marcadores auxiliares M1, M2, M3, M4 e Temporizadores T1, T2, T3 e T4, todos os temporizadores estão configurado no modo 1, retardo na energização. Como mencionado anteriormente o sistema move se no sentido horário e no sentido anti-horário de acordo com a solicitação do operador, esses comandos podem ser realizados fisicamente ou remotamente.

Acionando a entrada I1, o sistema se move no sentido anti-horário da seguinte maneira: O fluxo de energia passa por I2 normalmente fechado (NF), por I3 NF e aciona o Marcador M1, esse marcador é acionado devido a limitações de instruções por linha de código. Na segunda linha de programação temos um contato M1 normalmente aberto (NA), este contato serve como contato de selo, ou seja, apenas basta um pulso no I1 para acionar todo o sistema de movimento anti-horário.

Na terceira, quarta e sexta linha de programação temos a extensão de M1. Na quarta e sexta linha são responsáveis por habilitar e desabilitar as saídas Q1 e Q2 de acordo com os temporizadores.

Na terceira linha o fluxo de energia passa por T2 NF que é responsável pelo *loop*, e o sistema não para após passar pelos dois temporizadores, após isso o temporizador T1

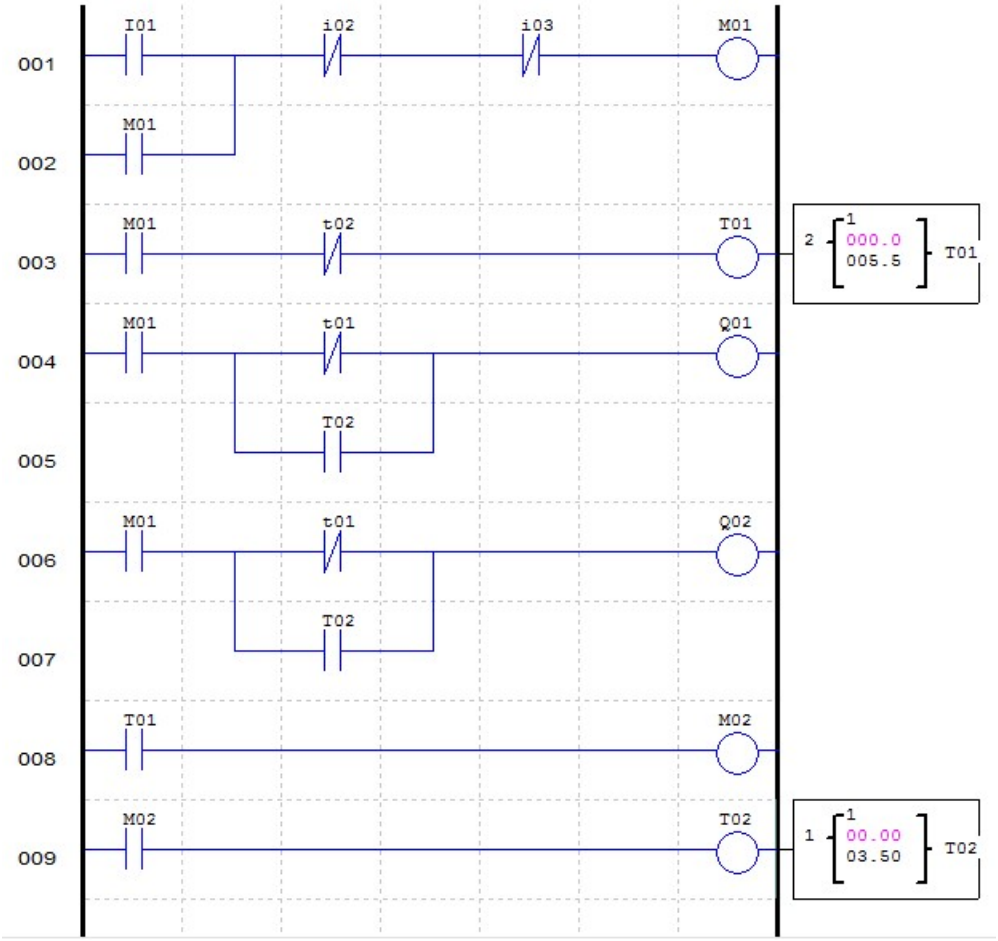

Figura 4.1. Lógica anti-horária.

é acionado. Esse temporizador T1 é responsável pelo tempo em que o objeto se move nesse caso 5,5 segundos habilitando as saídas Q1 e Q2. Esse tempo de 5,5 segundos pode se considerar virtualmente o tempo entre duas paradas, ou tempo de percurso entre duas estações.

Na linha 8, após passar o tempo de T1, o mesmo passa para NA, e em seguida atua o marcador auxiliar M2 que por fim atua o temporizador T2, que é responsável por parar o sistema por 3,5 segundos, ou seja, desabilitando Q1 e Q2. Após o T2 NA contar o tempo de 3,5 segundos ele volta a T2 NF e habilita novamente T1 e dessa forma o sistema fica em *loop* devido a ter um T2 NF na terceira linha de programação, caso este contato de T2 NF não estivesse nessa posição o sistema parava.

Na figura 4.1 pode se observar a lógica anti horária das linhas de código da linguagem *ladder*.

4.1.2 Movimento horário.

Acionando a entrada I2, o sistema se move no sentido horário da seguinte maneira: O fluxo de energia passa por I1 NF, por I3 NF e aciona o Marcador M3. Na decima primeira linha de programação temos um contato M3 NA, este contato serve como contato de selo, ou seja, apenas basta um pulso no I2 para acionar todo o sistema de movimento horário.

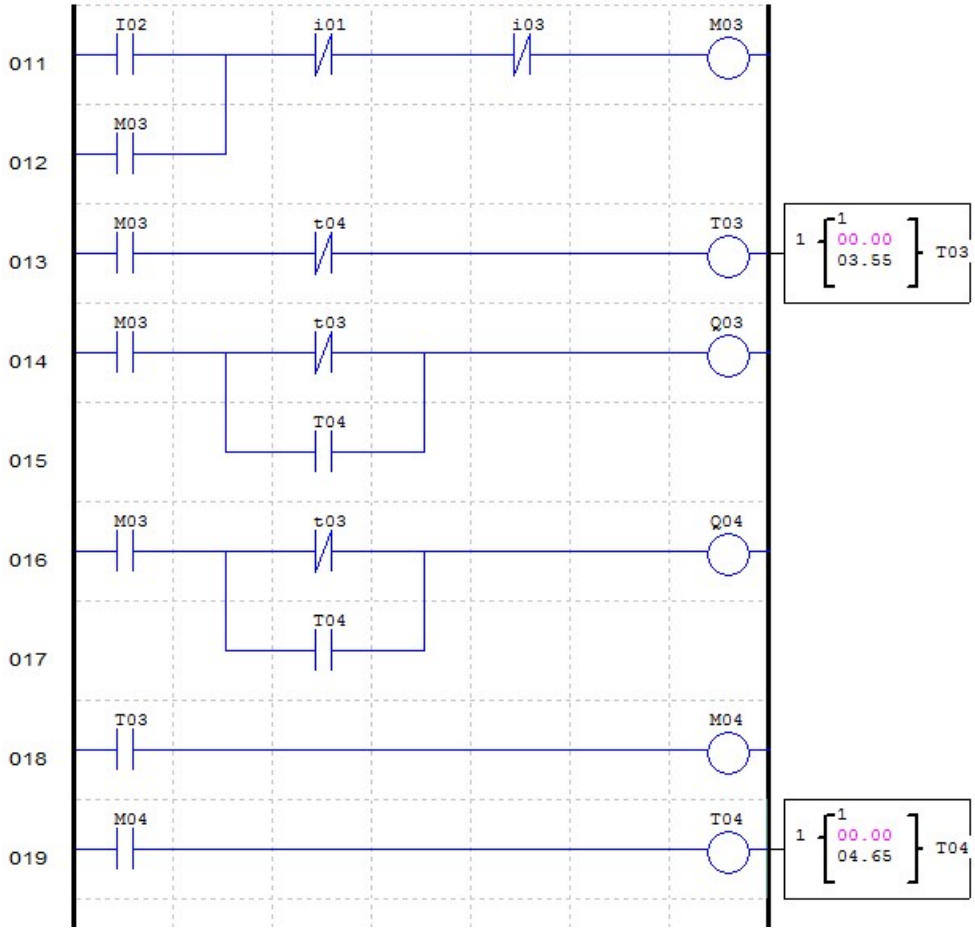

Figura 4.2. Lógica horária.

Na decima terceira, decima quarta e decima sexta linha de programação temos a extensão de M3. Na decima quarta e decima sexta linha são responsáveis por habilitar e desabilitar as saídas Q3 e Q4 de acordo com os temporizadores.

Na decima terceira linha o fluxo de energia passa por T4 NF que é responsável pelo *loop* e o sistema não para após passar pelos dois temporizadores, após isso o temporizador T3 é acionado. Esse temporizador T3 é responsável pelo tempo em que o objeto se move nesse caso 3,55 segundos, habilitando as saídas Q3 e Q4. Esse tempo de 3,55 segundos pode se considerar virtualmente o tempo entre duas paradas, ou tempo de percurso entre duas estações.

Após passar o tempo de T3, o mesmo passa para NA, e em seguida atua o marcador auxiliar M4 que por fim atua o temporizador T4, que é responsável por parar o sistema por 4,65 segundos, ou seja desabilitando Q3 e Q4.

E dessa forma o sistema fica em *loop* devido termos um T4 NF na decima terceira linha de programação. Caso este contato não estivesse nessa posição, após T4 ser atuado o sistema parava.

Na figura 4.2 pode se observar a lógica horária das linhas de código da linguagem *ladder*.

4.1.3 Lógica de emergência.

Na vigésima primeira e vigésima segunda linhas temos a programação de parada do sistema. Quando I3 é acionado desliga I1 e I2, desabilitando as saídas Q1 e Q2 ou Q3 e Q4 que estejam habilitadas e habilita a saída Q5, dessa forma ascende o led de emergência na cor vermelha. O contato Q5 NA na linha 22 é o contato de selo, como mostrado na figura 4.3.

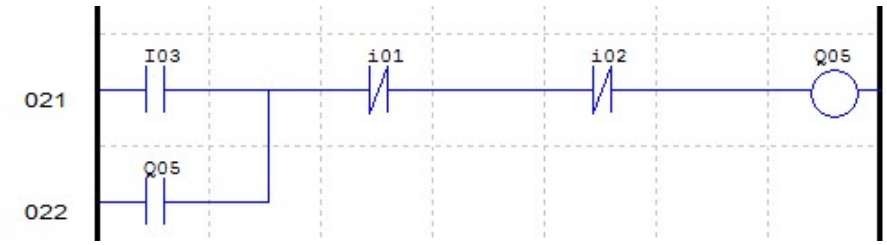

Figura 4.3. Lógica emergência.

4.2 Simulação.

O software CLIC 02 EDIT da WEG permite dois modos de simulação virtual: Um denominado *LADDER* e outro denominado TECLADO.

4.2.1 Modo ladder.

Neste modo de simulação através do teclado virtual podemos observar os contatos de memória sendo atuado de acordo com a entrada acionada.

Quando é ativado o I1 ele ativa o temporizador T1 e as memorias M1 e M2 ficam

Figura 4.4. Modo I1 Ligado.

ativadas. Como mostrado na figura 4.4.

Figura 4.5. Modo I1 Desligado.

Após a contagem de tempo de T1, ele é desativado e ativa a contagem de tempo de T2, atuando somente a memória M1. Como mostrado na figura 4.5.

Após a contagem de tempo de T2, é ativado novamente T1 e assim recomeça o ciclo.

Figura 4.6. Modo I2 ligado.

Quando é ativado o I2 ele ativa o temporizador T3 e as memorias M3 e M4 ficam ativadas. Como mostrado na figura 4.6.

Após a contagem de tempo de T3, ele é desativado e ativa a contagem de tempo de T4, atuando somente a memória M3. Como mostrado na figura 4.7.

Figura 4.7. Modo I2 Desligado.

Após a contagem de tempo de T4, é ativado novamente T3 e assim recomeça o ciclo.

Por fim no modo simulação *ladder* quando é acionado a entrada I3, não temos contato de memória acionado, porque essa entrada é responsável por interromper o sistema. Como mostrado na figura 4.8.

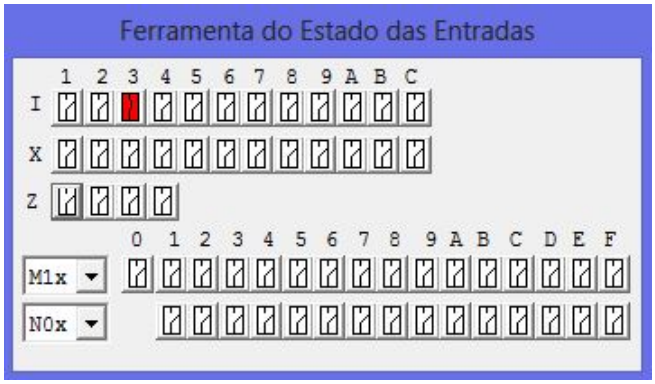

Figura 4.8. Modo I3 Acionado.

4.2.2 Modo Teclado.

Neste modo de simulação podemos observar através do *display* virtual e do comando de entrada utilizado, qual a saída está sendo acionada.

Nesse segundo momento de simulação, é realizada a simulação virtual fazendo alusão a simulação física. Vale salientar que este modo de simulação cópia fielmente ao teste físico do equipamento.

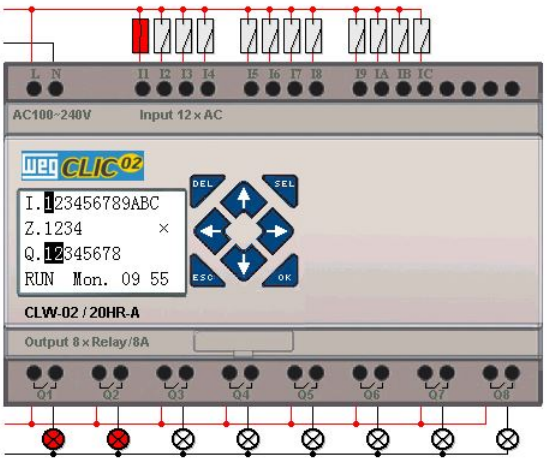

Figura 4.9. Modo Teclado I1 Acionado.

4.2.2.1 Comando horário.

Ao acionar a entrada I1, o temporizador T1 é acionado, acionando as saídas Q1 e Q2. Como mostrado na figura 4.9.

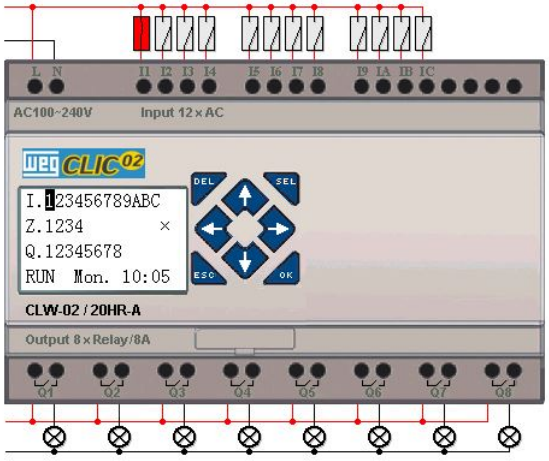

Figura 4.10. Modo Teclado I1 Desligado.

Após transcorrido o tempo de T1, o mesmo é desabilitado e T2 é acionada, começando uma nova contagem de tempo e nesse momento a saída Q1 e Q2 são desabilitadas. Como mostrado na figura 4.10.

Após a contagem de tempo de T2 ser concluída, reinicia o ciclo acionando novamente T1.

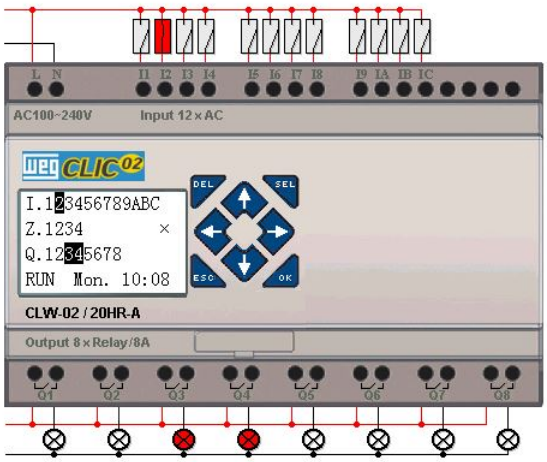

Figura 4.11. Modo Teclado I2 Acionado.

4.2.2.2 Comando anti-horário.

Ao acionar a entrada I2, o temporizador T3 é acionado, acionando as saídas Q3 e Q4. Como mostrado a figura 4.11.

Após transcorrido o tempo de T3, o mesmo é desabilitado e T4 é acionada, começando uma nova contagem de tempo e nesse momento a saída Q3 e Q4 são desabilitadas. Como mostrado na figura 4.12. Após a contagem de tempo de T4 ser concluída, reinicia o ciclo

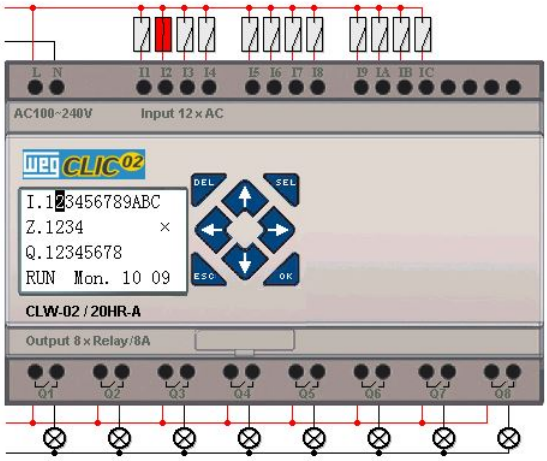

Figura 4.12. Modo Teclado I2 Desligado.

acionando novamente T3.

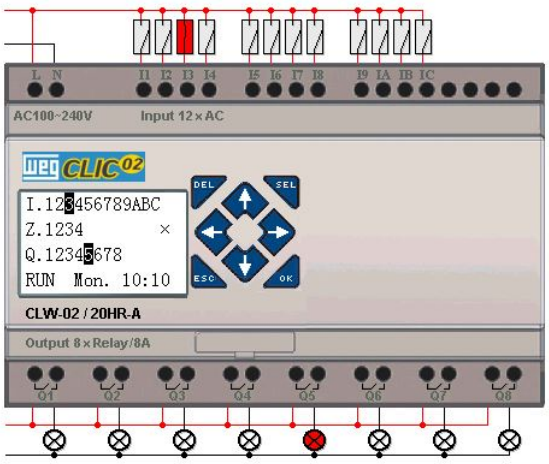

Figura 4.13. Modo Teclado I3 acionado.

4.2.2.3 Comando emergência.

Por fim quando a entrada I3 é acionada, é desabilitado as entradas que estejam acionada, é desabilitada as saídas que estejam habilitadas e somente a saída Q5 é habilitada, realizando a parada imediata do sistema. Conforme a figura 4.13.

4.3 Experiências adquiridas.

No decorrer da execução do projeto foram encontrados alguns problemas de natureza técnica que acabou por atrasar sua confecção.

Na fixação dos trilhos na bancada a melhor forma em relação ao custo benefício foi utilizar pistola e cola quente. Entretanto a pistola queimou por ser uma pistola de qualidade inferior, sendo necessária a aquisição de outra pistola mais robusta. Esse novo equipamento foi adquirido pela internet e demorou cerca de duas semanas para ser entregue. Nesse período o projeto ficou parado pois dependia da fixação dos trilhos para que outros componentes fossem também fixados na bancada.

Os Sensores utilizados são do tipo magnéticos, os *reed switch's*, pelo fato de serem de valores mais em conta. Contudo estes sensores são de baixa qualidade, precisando serem adquiridos sensores a mais, pois alguns já vieram estragados de fábrica e não havia garantia e troca desses componentes.

O fio utilizado para conexão dos sensores foi de 0.66 mm, esse fio é de cobre e rígido. Nas conexões por serem fios duros eles influenciavam na atuação dos sensores. Para sanar esses problemas realizei a seguinte estratégia, primeiramente foi fixado os sensores

na posição correta, depois fixei os fios, e somente por fim foi realizada a conexão do fio com o sensor para diminuir ao máximo a interferência do fio rígido na posição do sensor. Dessa forma o sensor só é atuado quando o objeto móvel passa próximo a ele.

Na programação do CLP, o cabo utilizado não havia conexão com o meu computador. Para sanar esse problema foi adquirido um adaptador USB 2.0 para cabo RS 232. Essa compra foi realizada pela internet e o pedido chegou em aproximadamente duas semanas, atrasando a simulação física.

5 Conclusão

As primeiras automatizações de controle autônomo realizados em linha férrea no Brasil, foram desenvolvidos para o metrô de São Paulo e entraram em operação na década de 80, e essa mesma tecnologia é utilizada nos dias atuais inclusive do metrô de Brasília. Os desafios encontrados para implementação de um sistema autônomo na modernização de uma planta continua, está relacionado com uma tecnologia que não é utilizada no controle de trens. Sendo essa tecnologia bastante difundida em processos industriais de controle de dados, e com o controle dessas informações realizam tomadas de decisões do processo.

Como os metrôs possuem propulsão elétrica, essa tecnologia escolhida se enquadra perfeitamente para o controle autônomo dos mesmos. Pois, em ambientes industriais ela controla tempo de partidas, tempo de paradas, frenagens e tempo de movimentação dos motores elétricos. Aplicando essa tecnologia com o dimensionamento da bancada, foi pré-determinada: O tempo de movimentação e de parada do objeto móvel. Simulando o tempo entre estações e de embarque e desembarque, possibilitando determinar o sentido de movimentação horário ou anti-horário do objeto móvel.

Efetuando os testes na bancada os sistemas de sinalização, controle e alimentação se mostraram bastante confiáveis. Uma vez que nesses testes todos esses sistemas não demostraram falhas.

No decorrer de todo o desenvolvimento do projeto algumas ideias surgiram de aplicações, como podendo ser utilizado entre terminais de aeroportos e de navios de cruzeiro, congruentemente obedecendo ao regulamento de transporte ferroviário e a normas de segurança vigente em cada país. Por se tratar de uma planta contínua, essa tecnologia se faz importante por apresentar segurança, confiabilidade e operar em ambientes críticos.

Por conclui-se que a bancada experimental desenvolvida nesse trabalho de conclusão de curso pode ser utilizada de forma didática para exemplificar funcionamento de circuitos controlados por CLPs ficara disponível na faculdade do Gama - UnB para os alunos que tiver interesse e curiosidade em manipular esse tipo de tecnologia.

Referências Bibliográficas

[1] Humberto Rodrigues Macedo. Automação de processo de obtenção de biodiesel em plantas de pequeno porte, utilizando controlador lógico programável. 2018.

[2] Siemens. Basics of PLCs. 2000.

[3] Bruno de Abreu Oliveira. O trem que não chegou: os projetos ferroviários para o centro-sul sergipano (1872-1915). 2018.

[4] ARTHUR LOVATO CAVALCANTI. A importância do transporte ferroviário para abertura de novos horizontes. 2016.

[5] Barsanufo Gomides Borges. Ferrovia e modernidade. *Revista UFG*, 13(11), 2011.

[6] Bruno Ribeiro et al. Dinâmica do transporte sobre trilhos na região metropolitana de são paulo-rmsp-desenvolvimento, problemas e diretrizes. 2019.

[7] Disponível em http://ftc.com.br/a-empresa/historia/as-locomotivas-e-as ferrovias. acesso em 23/11/2020.

[8] Disponível em http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/evolucao/index.aspx. acesso em 20/11/2020.

[9] Mário David Correia Mendonça. Ambiente integrado de desenvolvimento iec 61131-3 para eclipse. 2017.

[10] Isis Torres Carneiro. Controle de nível de tanques não lineares implementado em um controlador lógico programável com sistema de supervisão labview. 2014.

[11] Phillip Lipson. Geert vander Zalm. Bosch Rexroth Corp. Inside machines: Pc versus plc: Comparing control options. 2011.

[12] Mikell P Groover. Automation. *Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*, 2, 2001.

[13] WEG. Manual do usuário. 2010.

[14] Arivelto Bustamante Fialho. *Automação pneumática–Projetos, dimensionamento e análise de circuitos.* Saraiva Educação SA, 2018.

[15] Frank D Petruzella. *Controladores lógicos programáveis.* AMGH Editora, 2014.

[16] Frank Lamb. *Automação Industrial na Prática-Série Tekne.* AMGH Editora, 2015.