

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

JÚLIO CARLOS DE MORAES FRAUZINO
VINÍCIUS ALVES DA CRUZ

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA PLANTA AUTOMATIZADA PARA
O CONTROLE DE ESTEIRAS UTILIZANDO CLP**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017

JÚLIO CARLOS DE MORAES FRAUZINO
VINÍCIUS ALVES DA CRUZ

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA PLANTA AUTOMATIZADA PARA
O CONTROLE DE ESTEIRAS UTILIZANDO CLP**

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação de Engenharia Elétrica da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – UTFPR, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Marcelo Chiesse
da Silva

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017



**Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Júlio Carlos de Moraes Frauzino

Implementação do protótipo de uma planta automatizada para o controle de esteiras utilizando CLPs e inversores de frequência

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 10:00hs do dia 15/06/2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Luiz Marcelo Chiesse da Silva - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Wagner Endo - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Luis Fernando Caparroz Duarte - (Membro)



**Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinicius Alves da Cruz

Implementação do protótipo de uma planta automatizada para o controle de esteiras utilizando CLPs e inversores de frequência

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 11:00hs do dia 15/06/2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Luiz Marcelo Chiesse da Silva - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Wagner Endo - (Membro)

Prof(a). Me(a). Clóvis Ronaldo da Costa Bento - (Membro)

RESUMO

CRUZ, Vinícius; FRAUZINO, Júlio. **Título do trabalho:** IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA PLANTA AUTOMATIZADA PARA O CONTROLE DE ESTEIRAS UTILIZANDO CLP. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Para suprir a demanda atual de produção, são necessários diversos sistemas automatizados nas indústrias. Essa automação só é possível graças à um controlador que rege todo o processo, analisando os sinais recebidos pelos sensores e comandando a ação dos atuadores. O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo próprio para a utilização industrial e foi o controlador utilizado neste trabalho. O projeto consiste na construção do protótipo real de um processo industrial, baseado no software de *simulação ITS-PLC*, da empresa *RealGames*. O sistema é formado por esteiras transportadoras que selecionam caixas de acordo com o tamanho. A execução do trabalho envolve: o condicionamento dos sinais dos sensores presentes na planta, apresentando funcionamento similar ao virtual; controle dos atuadores utilizados; e a programação na linguagem própria do controlador.

Palavras-chave: CLP. Esteiras. Automação. Sensores. Atuadores.

ABSTRACT

CRUZ, Vinícius; FRAUZINO, Júlio. **Title of the working:** IMPLEMENTATION OF THE PROTOTYPE OF AN AUTOMATED PLANT FOR THE CONTROL OF CONVEYOR BELTS USING PLC. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

To supply the current demand for production, several automated systems are required in industries. This automation is only possible due to a controller that executes the whole process, analyzing the signals received by the sensors and commanding the action of the actuators. The Programmable Logic Controller (PLC) is a device suitable for the industrial use and was the controller used in this work. The Project consists of building a real prototype of an industrial process, based on the ITS-PLC simulation software, from the company RealGames. The system consists of conveyor belts that select boxes according to size. The execution of the work involves: the signal conditioning of the sensors applied in the plant, presenting similar functioning to the virtual ones; control of the employed actuators and programming in the controller's proper language.

Keywords: PLC. Conveyor Belts. Automation. Sensors. Actuators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos de um sistema de automação.	16
Figura 2 - Funcionamento sensor fotoelétrico.	19
Figura 3 - Resistência <i>LDR</i> em função da intensidade luminosa.	20
Figura 4 - Esquema de ligação a relé.	22
Figura 5 - Motor de corrente contínua.	23
Figura 6 - Micromotor DC.	24
Figura 7 - Blocos do CLP.	27
Figura 8 - <i>ITS-PLC</i>	30
Figura 9 - Fluxo e atuadores das esteiras transportadoras.	31
Figura 10 - Sensores das esteiras transportadores.	32
Figura 11 - Ambiente de programação WinSPS.	33
Figura 12 - Planta virtual de esteiras.	34
Figura 13 - Diodo laser 5 mW.	36
Figura 14 - Circuito do sensor óptico.	36
Figura 15 - Funcionamento sensor óptico.	37
Figura 16 - Motor elétrico CC utilizado.	38
Figura 17 - Diagrama de acionamento por relé.	39
Figura 18 - Circuito integrado LN298.	40
Figura 19 - Ponte "H".	41
Figura 20 - Vista CLP S7-300 no Kit.	42
Figura 21 - Ambiente de programação WinSPS.	43
Figura 22 - Diagrama <i>Ladder</i>	44
Figura 23 - Fluxograma do algoritmo em <i>Ladder</i>	45
Figura 24 - Layout protótipo de esteiras.	46
Figura 25 - Diagrama elétrico.	48
Figura 26 - Sistema de redução com correias e engrenagens retas.	49
Figura 27 - Sistema de engrenagens helicoidais.	49
Figura 28 - Suporte de madeira para a esteira.	50
Figura 29 - Mesa giratória.	50
Figura 30 - Protótipo de esteiras.	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sensores da planta de esteiras.....	32
Quadro 2 - Tabela verdade CI 298.....	41
Quadro 3 - Descrição sensores e atuadores do protótipo.	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DISCRETOS E CONTÍNUOS	14
2.2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	15
2.3 SENSORES DISCRETOS	16
2.3.1 Circuitos de condicionamento	17
2.3.2 Sensores de presença.....	18
2.3.2.1 LDR (<i>Light Dependent Resistor</i>)	19
2.4 ATUADORES.....	21
2.4.1 Circuitos de interface	21
2.4.1.1 Acionamento a relé	21
2.4.2 Motores elétricos	22
2.4.2.1 Motores elétricos de corrente contínua	22
2.4.2.2 Micro motores.....	24
2.4.2.3 Regulação de velocidade e sentido de motores CC	25
2.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP).....	25
2.5.1 Elementos do CLP	26
2.5.2 Linguagens de programação	28
2.6 SIMULADORES DE PROCESSOS DE AUTOMAÇÃO.....	29
2.6.1 ITS PLC - <i>Interactive Training System for PLC</i>	29
2.6.1.1 Descrição do sistema de " <i>Sorting</i> "	30
2.6.2 <i>Software</i> de programação do CLP : WinSPS s7 v5	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 SENSORES	35
3.1.1 Sensor óptico aplicado no protótipo.....	35
3.2 ATUADORES.....	38
3.2.1 Regulação do sentido de rotação dos motores	39
3.3 CONTROLADOR.....	42
3.3.1 Programação e comunicação	43

<i>3.4 PROTÓTIPO DAS ESTEIRAS TRANSPORTADORAS</i>	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	53
6 REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Todo processo produtivo necessita de um controle para ser realizado, o qual inicialmente era realizado mediante o uso de técnicas simples, mas a rápida evolução da tecnologia possibilitou implementar os sistemas de alto grau de automação nas grandes indústrias atualmente.

Para controlar os múltiplos dispositivos de automação de um processo, foi criado um dispositivo robusto, versátil, e capaz de suportar o ambiente industrial, que muitas vezes é agressivo quanto às suas condições de temperatura, pressão, poeira, dentre outros fatores.

O CLP é um dispositivo que utiliza-se de suas memórias programáveis para gravar instruções e executar funções de controle com vários níveis de complexidade. Todo processo industrial necessita de um controlador para garantir que a operação seja segura e viável economicamente (FRANCHI, 1997). Para que um processo seja automatizado, é necessário que as variáveis físicas do sistema sejam identificadas e transformadas em grandezas que possam ser utilizadas pelos dispositivos de controle. Essa função é realizada pelo transdutor, que atua como uma interface entre o ambiente e o controlador (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

Os CLPs realizam um controle operando com variáveis digitais ou analógicas e são utilizados em indústrias manufatureiras de forma geral. Nesse tipo de instalações é muito comum o uso de esteiras, que auxiliam em operações como montagem e transporte dos produtos, garantindo a eficiência do processo (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

No aprendizado e treinamento para a configuração e utilização de CLPs, é possível a utilização de simuladores e funções ou blocos que realizam a implementação gráfica do modelo do sistema de automação. De acordo com Strieder, Schuch e Frias (2006), simuladores virtuais por modelos computacionais de plantas e processos industriais podem ser utilizadas, porém, é adequada a utilização de interfaces físicas com o CLP para suas entradas e saídas, tornando a utilização do controlador mais próxima de um processo real.

Para este fim, é viável a implementação de protótipos de plantas industriais que reproduzam o comportamento de uma planta similar real (BANERJEE, 2014).

Dentre os processos industriais automatizados, a utilização de esteiras é uma aplicação comum em muitas indústrias.

1.1 OBJETIVOS

Elaborar e implementar o projeto de um protótipo real de uma planta industrial de esteiras transportadoras de caixas, baseada na planta virtual do *software ITS PLC* da empresa *RealGames*, de modo a aplicar os conhecimentos adquiridos em controladores lógicos programáveis (CLP) e proporcionar uma experiência real de um processo produtivo, permitindo realizar testes de seu funcionamento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Especificar os materiais necessários, mais adequados, e de baixo custo, para a montagem do protótipo da planta de esteiras; como sensores e atuadores.
- Projetar e elaborar de circuitos eletroeletrônicos de interface, para condicionamento dos sinais provenientes dos sensores e dos sinais transmitidos aos atuadores (motores), para adequação com o CLP a ser utilizado.
- Montar da estrutura física do protótipo, de acordo com o posicionamento dos sensores, atuadores, e dispositivos mecânicos apresentados pela planta virtual do *software ITS PLC*.
- Aplicar o conhecimento da lógica (álgebra booleana), na montagem de diagramas na linguagem *Ladder*, utilizada para controlar as funções da esteira.
- Efetuar testes e correções no sistema para o posicionamento dos sensores e controle dos atuadores (motores).
- Verificação do sistema e elaboração da documentação final.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente na indústria, a utilização do CLP no processo de automação é essencial em linhas de produção totalmente automatizadas. Nessas linhas, a programação dos controladores é feita de forma que o processo ocorra forma rápida, eficiente e com menos riscos à segurança de operadores e manutentores.

Deste modo, o treinamento na área de CLPs e dispositivos de automação se tornam importantes para o aprimoramento profissional, assim como a criação de ferramentas que permitam a aquisição deste conhecimento de maneira mais eficaz. Nos cursos de engenharia elétrica e engenharia de controle e automação da UTFPR, a área de automação e controle discreto utiliza os equipamentos CLPs, IHMs, inversores de frequência, e alguns protótipos de plantas industriais, muitas vezes simuladas por *softwares* computacionais.

Visando à melhoria destes métodos de aprendizado, esta proposta apresenta o projeto e criação do protótipo de uma planta industrial para representar um processo industrial real, comumente utilizado, que consiste no transporte de produtos por esteiras, auxiliando no melhor entendimento do funcionamento e operação de sistemas automatizados via CLP.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os métodos utilizados para o controle de processos requerem um elevado conhecimento na área de automação. Essa análise leva em conta o tipo de sistema a ser monitorado, as variáveis de processo analisadas, os sensores e atuadores utilizados, o funcionamento do controlador escolhido, dentre outros fatores.

2.1 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DISCRETOS E CONTÍNUOS

Existem dois tipos de processos industriais, que são classificados segundo a manipulação das variáveis a serem controladas. Podem ser descritas como processos contínuos ou discretos (SILVEIRA, 2002).

Quando as variáveis de entrada e saída são definidas para todo um instante de tempo “ t ”, o processo é classificado como de tempo contínuo.

Um sistema é de tempo discreto caso suas variáveis sejam definidas em instantes discretos de tempo. Geralmente este tipo de processo é caracterizado por uma taxa de amostragem que determina uma sequência de valores dos sinais dos sistema em determinados instantes.

Os modelos físicos são geralmente descritos como sistemas contínuos, como a tensão e a corrente em um circuito elétrico. No entanto, para a utilização de processadores digitais, é necessária a análise por sistemas discretos.

As indústrias de manufatura, de fabricação por lote, se caracterizam pelo controle do tipo discreto, tendo como maior exemplo a indústria automobilística. Controles de processo do tipo contínuo são caracterizados nas indústrias de manipulação, como a química, farmacêutica, petroquímica, entre outras (SILVEIRA, 2002).

Em ambiente de processos, que descrevem os métodos de mudança ou refinamento de matérias-primas para se obter produtos finais, também podem ser classificadas em processos contínuos e discretos, além de estarem diretamente relacionadas com o mesmo tipo de controle.

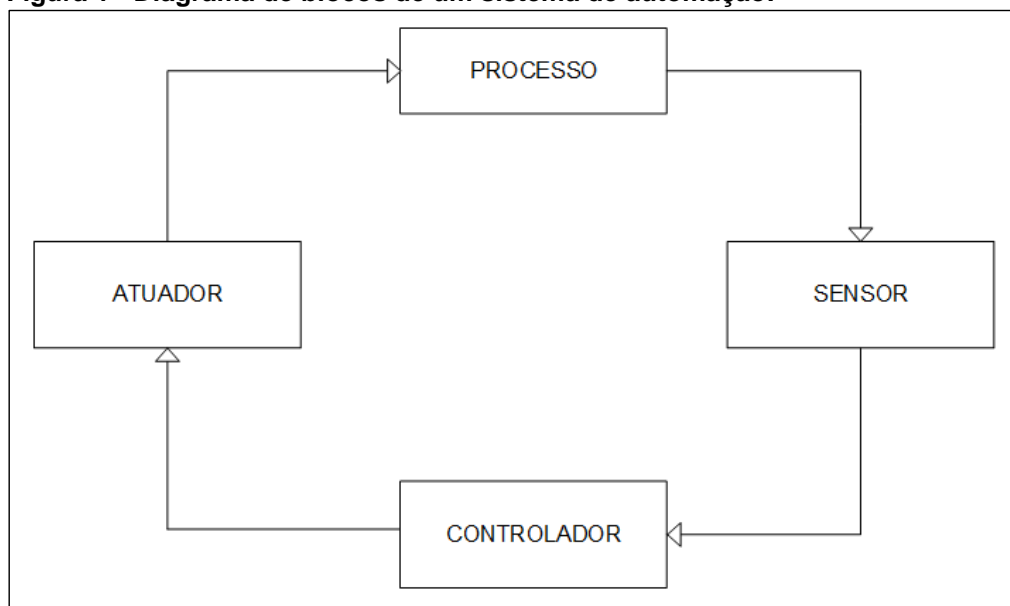
Nos processos denominados contínuos, em que ocorre o consumo de matérias primas e fornecimento de produtos finais em base contínua, são executados em plantas de processamento contínuo como refinarias de óleo e caldeiras. Por exemplo, no caso do vapor de uma caldeira, produzido sem interrupções (FRANCHI, 2013).

Os processos discretos ocorrem quando uma unidade produtora é carregada de material, e o processo é executado em intervalos de tempo em que, após estes, os elementos processados são finalizados. São executados e operados em uma sequência apropriada de etapas. Por exemplo, um misturador de insumos (FRANCHI, 2013).

2.2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação industrial visa fornecer e gerenciar soluções, não só a nível de chão de fábrica, mas também ao gerenciamento da informação. O sistema de automação deve seguir as leis básicas da cibernética (ciência que estuda e estabelece a teoria geral de sistemas), sendo que uma delas determina que todo o sistema dotado de retroação e controle implica na presença de três componentes básicos: os sensores, os atuadores e o controlador, conforme exibido na Figura 1 (SILVEIRA, 2002).

Figura 1 - Diagrama de blocos de um sistema de automação.



Fonte: Adaptado de SILVEIRA, 2002.

2.3 SENSORES DISCRETOS

O sensor é um dispositivo sensível a um fenômeno físico, tal como: temperatura, umidade, luz, pressão, entre outros. Devido a esta sensibilidade, os sensores enviam um sinal, que pode ser um simples abrir e fechar de contatos, para os dispositivos de medição e controle. Caso exista a necessidade de medir uma grandeza elétrica a partir de um fenômeno físico qualquer envolvendo grandezas físicas que não sejam dessa natureza, tem-se, conceitualmente, a necessidade da utilização de um transdutor (SILVEIRA, 2002).

O transdutor caracteriza-se pela capacidade de resposta ao fenômeno físico, ou estímulo, de forma a converter sua magnitude em um sinal elétrico conhecido, proporcional à amplitude dessa excitação. O termo "transdutor" engloba o instrumento completo para o uso industrial, envolvendo o sensor juntamente com o circuito de interface que manipula o sinal, de modo que possa ser lido por um controlador (THOMAZINI, 2007).

2.3.1 Circuitos de condicionamento

Para realizar a medição de um sinal proveniente de um sensor de forma efetiva e precisa, possibilitando ao controlador interpretá-lo de acordo com seus padrões de entrada, muitas vezes é necessário utilizar um circuito de condicionamento (ASHLOCK; WARREN A., 2015). Esse circuito é responsável pelo processamento do sinal proveniente do sensor para utilizá-lo na próxima etapa do processo.

Os condicionadores podem realizar funções, dentre elas destacam-se:

- **Amplificação/Atenuação:** utilizadas quando é necessário adequar o sinal proveniente do sensor para uma certa faixa (*range*) do conversor analógico-digital. A amplificação é utilizada para aumentar os níveis de tensão, juntamente com a resolução e sensibilidade dos sinais. A atenuação exerce o papel oposto, utilizada geralmente quando o sinal elétrico é de magnitude maior em módulo que a faixa de operação aceita pelo conversor A/D (ASHLOCK; WARREN A., 2015).
- **Filtragem:** as operações de filtragem podem ser divididas em filtros passa-bandas e filtros de rejeição de banda. Os filtro passa-banda permitem que somente frequências determinadas dentro de uma faixa sejam aceitas, dentro dessa categoria estão os filtros passa-alta e passa-baixa. Os filtros de rejeição exercem função inversa aos filtros passa-banda, atenuando ao máximo sinais em um valor determinado de frequência (CAMPILHO, 2013).
- **Isolação:** é utilizada quando a tensão dos sinais transitórios possam exceder a tolerância permitida e causar danos ao sistema. Essa função é utilizada geralmente em conjunto com os circuitos atenuadores para proteger o sistema de tensões muito elevadas ou picos de tensão (ASHLOCK; WARREN A., 2015).
- **Excitação:** quando se deseja obter um sinal elétrico mensurável a partir de sensores passivos, é necessário utilizar uma técnica de excitação (COELHO, 2005). É geralmente utilizado em componentes de impedância variável mediante uma certa condição física, associando-os à uma fonte de tensão ou corrente juntamente com outras impedâncias.

- Linearização: alguns dispositivos apresentam relação não-linear com a grandeza física medida, tendo um comportamento específico. A linearização é o processo de interpretar o sinal do sensor, traduzindo seu comportamento não-linear de modo que possa ser utilizado na próxima etapa do controle (ASHLOCK; WARREN A, 2015).

Neste trabalho é necessário o condicionamento do sinal proveniente de um componente passivo que possui resistência variável mediante à presença de luz. Sendo assim, para mensurar essa variação de impedância em forma de um sinal elétrico, é necessário associar o sensor à uma fonte de tensão e à outras impedâncias (COELHO, 2005).

2.3.2 Sensores de presença

Os sensores de presença são utilizados amplamente na indústria, tanto para fins de processo quanto de manutenção e segurança. Esses dispositivos permitem detectar, monitorar, regular e controlar os processos produtivos, garantindo qualidade e confiabilidade à automação (ROCKWELL, 1999).

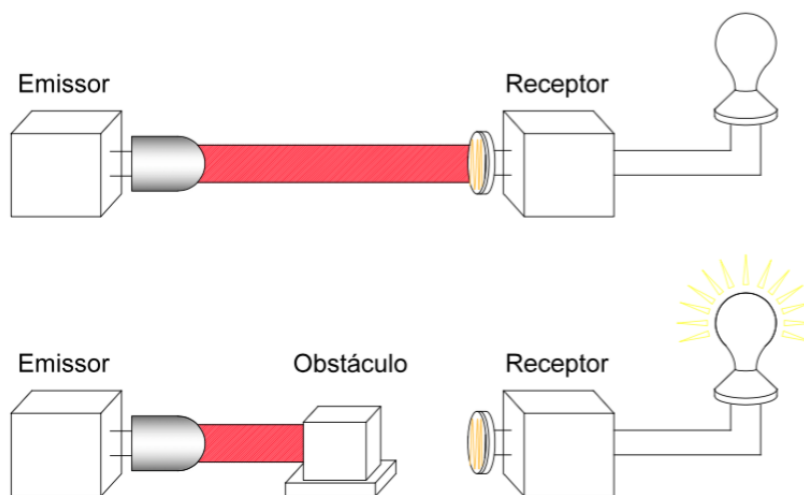
Várias são as tecnologias desenvolvidas para esse fim, dentre elas pode-se destacar: chaves de fim de curso, sensores indutivos, sensores capacitivos, sensores ultrassônicos, fotoelétricos, dentre outros. Cada sensor possui suas características e aplicações específicas, além de suas respectivas estratégias de detecção.

Para o protótipo automatizado deste trabalho serão empregados sensores ópticos fotoelétricos, utilizados para a detecção da presença de objetos. De acordo com Thomazini (2007), "são componentes de sinalização e comando, que executam a detecção de qualquer material sem que haja contato mecânico entre eles."

O sensor fotoelétrico é basicamente constituído pelos seguintes componentes: fonte de luz (emissor), detector de luz (receptor), circuito lógico de condicionamento e pelo sinal de saída, podendo ser analógico ou digital (ROCKWELL, 1999). O princípio de funcionamento desse dispositivo é baseado na mudança da

intensidade luminosa recebida pelo detector, que gera um sinal de saída para o controlador mediante a variação de luz, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Funcionamento sensor fotoelétrico.



Fonte: Adaptado Rockwell, 1999.

A fonte luminosa geralmente utilizada como emissor do sensor fotoelétrico é o diodo emissor de luz, um componente semicondutor que emite luz quando percorrido por corrente elétrica. O detector de luminosidade deve ser composto por um componente sensível à variação de luz, como por exemplo fotorresistores, fotodiodos, fototransistores, fototiristores, dentre outros. O circuito de condicionamento é responsável por interpretar o sinal proveniente do sensor fotoelétrico, gerando um sinal de saída conforme necessário para o controle do processo.

2.3.2.1 LDR (*Light Dependent Resistor*)

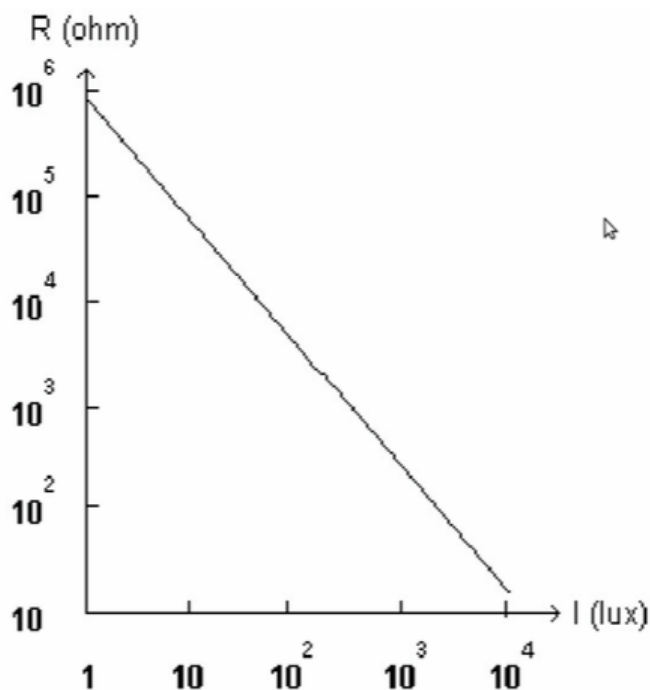
Neste trabalho optou-se por utilizar o *LDR*, juntamente com um circuito eletrônico de interface para tratamento do sinal, como sensores de presença nas esteiras transportadoras da planta. Esta escolha se deve ao baixo custo e eficiência

do componente para este protótipo, necessitando da aplicação de conhecimentos de engenharia para a confecção do transdutor.

O *LDR* ou fotorresistor é um componente cuja resistência elétrica varia de acordo com a incidência de luz, fenômeno possível devido ao efeito fotoelétrico. Esta característica é inerente a alguns materiais semicondutores, que origina elétrons livres mediante a presença de luz, modificando a condução da energia elétrica (GUELLERE, 2010).

O fotorresistor é formado pelos seus eletrodos, condutores, uma base cerâmica e pela célula fotocondutiva. De acordo com Thomazini (2005), o semicondutor utilizado no *LDR* é geralmente o sulfeto de cádmio (CdS). Esse material apresenta uma resistência extremamente elevada na ausência de energia luminosa (no escuro), e ao ser diretamente iluminado, essa resistência é significativamente reduzida. O comportamento da resistência (R) em função da intensidade luminosa (I) pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Resistência *LDR* em função da intensidade luminosa.



Fonte: Guellere, 2010.

2.4 ATUADORES

Atuadores são dispositivos responsáveis por executar uma determinada força mecânica quando acionados, definida pelo sistema que o controla, por meio de uma ação de controle. Podem ser do tipo magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos, ou de acionamento misto (SILVEIRA, 2002).

O controle utiliza a informação dos sensores para regular o acionamento do atuador. Por exemplo, para manter o nível de água num reservatório, utiliza-se um atuador que abre ou fecha uma válvula para controlar o fluxo (MOREIRA, MAGALHÃES;2002).

2.4.1 Circuitos de interface

As saídas do CLP fornecem sinais de comando para realizar a intervenção direta no processo a ser controlado, acionando ou desligando motores, lâmpadas, válvulas, dentre outros atuadores (SILVEIRA; SANTOS, 1998). As saídas do CLP, quando são do tipo eletrônicas, geralmente não fornecem tensão ou corrente suficiente para acionar o atuador, necessitando de um circuito de interface para suprir a potência de demanda do equipamento a ser acionado.

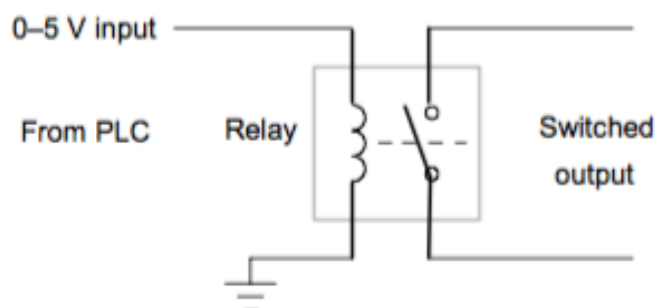
De acordo com Bolton (2006), o sinal de saída do CLP pode controlar dispositivos mais robustos, como motores elétricos, utilizando uma interface baseada em relés ou transistores. Deste modo é possível fornecer a potência suficiente para o acionamento proveniente de outra fonte, utilizando o sinal de saída do CLP como o sinal de controle.

2.4.1.1 Acionamento a relé

Os relés são dispositivos eletromecânicos acionados por um campo magnético. O chaveamento ocorre quando há passagem de corrente elétrica por um solenoide, induzindo o campo magnético responsável pelo fechamento do contato (BOLTON, 2006). O acionamento a relé é executado pelo sinal de saída do CLP, possibilitando

chavear dispositivos com uma fonte de alimentação externa. O esquema de ligação é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Esquema de ligação a relé.



Fonte: Bolton, 2006

2.4.2 Motores elétricos

De acordo com Chapman (2012), os motores elétricos são máquinas capazes de converter a energia elétrica em energia mecânica, por ação de um campo magnético, sendo classificados em duas grandes famílias: os motores de corrente contínua (CC) e de corrente alternada (CA). De acordo com Capelli (2006), a utilização dos motores de corrente alternada é mais comum na indústria devido ao seu custo reduzido e flexibilidade. Neste trabalho será utilizado o motor de corrente contínua, devido à facilidade de controle e baixa potência exigida pela planta automatizada.

2.4.2.1 Motores elétricos de corrente contínua

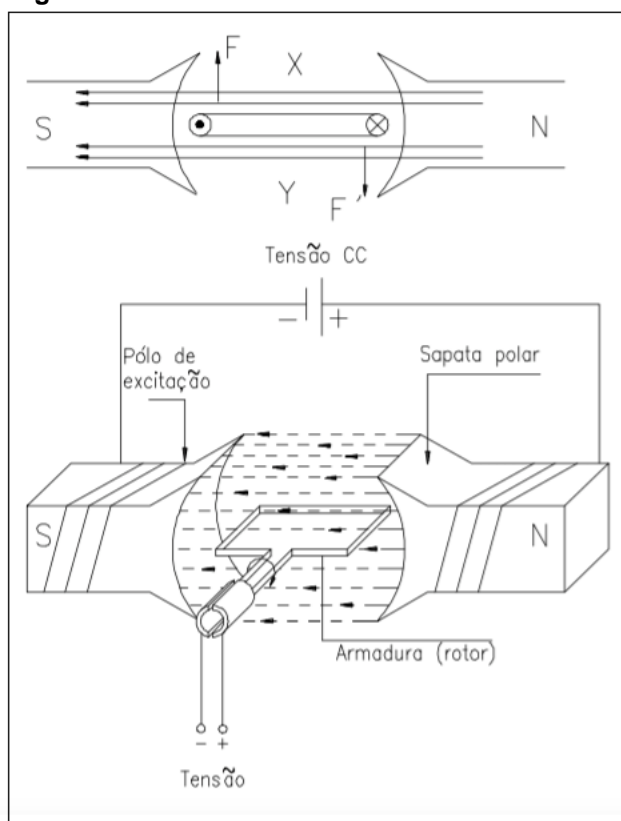
O motor elétrico de corrente contínua foi a primeira máquina elétrica a ser utilizada industrialmente (FRANCISCO, 2008), pois a distribuição da energia elétrica inicialmente era efetuada em corrente contínua. Com o surgimento do fornecimento de energia elétrica em corrente alternada e o desenvolvimento dos acionamentos dos motores CA, houve um decréscimo na utilização dos motores CC.

Entretanto, estes motores continuam sendo utilizados para fins específicos, principalmente em sistemas que dispõem do fornecimento de energia elétrica em CC,

como em carros, tratores e aeronaves. Os motores CC também são eficientes em situações que necessitam da variação de velocidade ou de um controle mais preciso de movimento (CHAPMAN, 2012)

O princípio de funcionamento do motor elétrico de corrente contínua é representado na Figura 5:

Figura 5 - Motor de corrente contínua



Fonte: WEG, 2016.

Como é possível observar, o estator gera o campo magnético que interage com o enrolamento da armadura percorrido por corrente. Sem a presença do comutador, as forças de interação entre a armadura e o estator levariam o eixo à uma posição de equilíbrio, mas com a troca de sentido da corrente realizada, as forças de interação não atingem uma posição de equilíbrio e o motor realiza a rotação (WEG, 2016).

2.4.2.2 Micro motores

Dentre as principais especificações necessárias para determinar qual o tipo de motor mais adequado a uma aplicação, é possível citar: a potência, rotação, tensão, frequência, dentre outras. (WEG, 2016).

O dimensionamento correto do motor é importante, adequando-o ao projeto como um fator não limitante ou excedente. As características citadas anteriormente estão relacionadas principalmente ao tamanho do motor, que também deve ser adequado à sua aplicação. (WEG, 2016)

O principal item para este trabalho é a implementação de um protótipo de uma planta de automação para fins didáticos, necessitando de motores de dimensões reduzidas que não requerem acionadores de grande potência, mas tenham suas dimensões físicas adequadas ao protótipo.

Micromotores são máquinas elétricas em menor tamanho, desenvolvidas para uso com baixa demanda de potência, como mostrado na Figura 6. Amplamente utilizados por projetistas do ramo de automação industrial e robótica, principalmente em equipamentos bancários, impressoras e esteiras alimentadoras de pequeno porte (NEOYAMA, 2017).

Figura 6 - Micromotor DC.



Fonte: Portescap, 2016.

Os micromotores CC podem ser classificados nas subcategorias de micromotores com escovas, micromotores sem escovas, micromotores de disco

magnético, micromotores do tipo *Can Stack*, dentre outros (PORTESCAP, 2016). Cada subcategoria possui sua aplicação específica, principalmente relacionada à vida útil, velocidade, torque, precisão e custo.

2.4.2.3 Regulação de velocidade e sentido de motores CC

Uma grande vantagem das máquinas elétricas de corrente contínua é sua versatilidade (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2006). O sentido de rotação do motor de corrente contínua depende do sentido do campo gerado pelo estator e do sentido da corrente na armadura. Ao inverter a polaridade do campo ou o sentido da corrente de armadura, é possível alternar a rotação do motor (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2006).

O controle da velocidade do motor de corrente contínua pode ser feito introduzindo uma resistência no circuito de campo gerado pelo estator. Desta forma, ao aumentar a resistência, o campo magnético gerado é reduzido e a velocidade do motor é reduzida (CHAPMAN, 2012).

2.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Os primeiros sistemas de controle automatizados eram constituídos por elementos eletromecânicos, com partes fixas e móveis envolvendo contatos a relé, que ao serem acionados, conectavam ou desconectavam circuitos elétricos ligados a atuadores. Inicialmente esse método foi utilizado para a produção em massa nas indústrias, principalmente a automobilística.

Entretanto, esse tipo de estratégia para a manufatura necessitava de circuitos elétricos especificamente projetados para determinadas funções, tornando qualquer mudança ou flexibilidade no processo uma tarefa muito trabalhosa. Segundo Bolton (2006), as funções a serem executadas eram determinadas pelo arranjo dos

circuitos e para realizar qualquer mudança, esses deveriam ser alterados, tornando o processo caro e demorado.

Os sistemas baseados em controladores programáveis surgiram para que ao invés de se modificar um circuito para cada função, fosse possível utilizar um único sistema para diferentes abordagens de controle. As instruções são previamente programadas no controlador eletrônico, que informam como este deve reagir baseado nos sinais recebidos. Assim, modificando a programação do dispositivo é possível modificar facilmente o controle do mesmo, atribuindo flexibilidade e agilidade ao processo. (BOLTON, 2006)

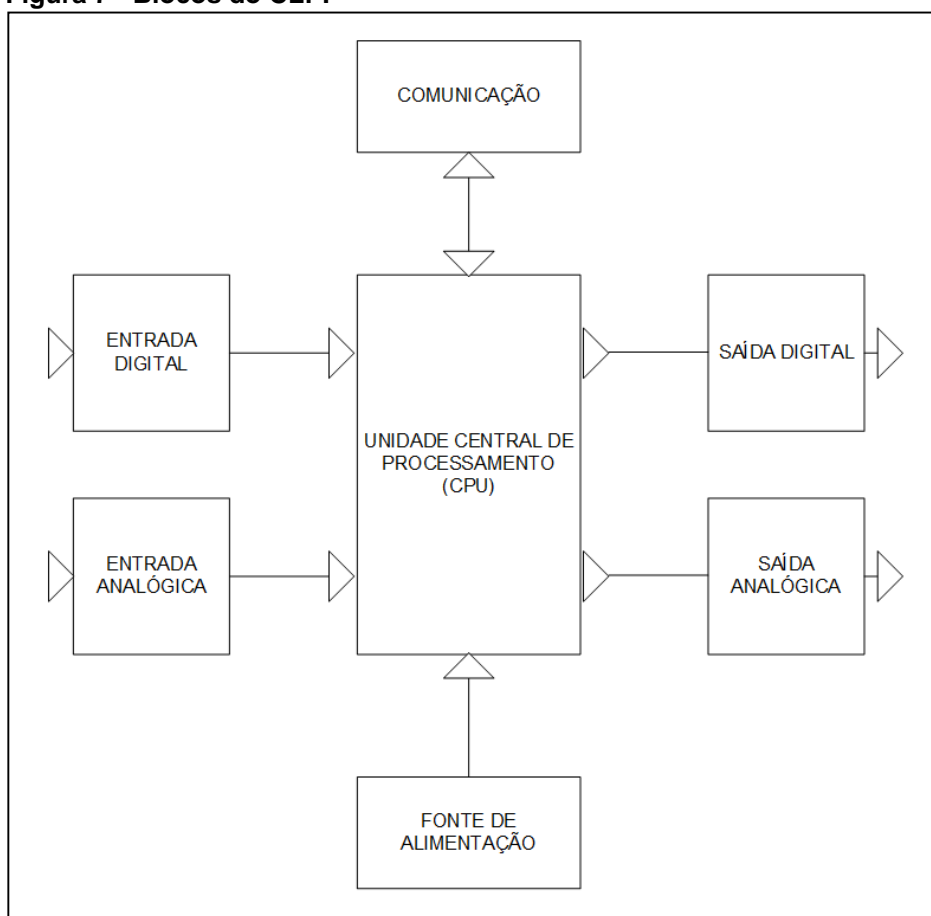
O CLP é um dispositivo projetado para desenvolver atividades em ambiente industrial, considerados “agressivos” e muitas vezes expostos a temperaturas elevadas, impurezas no ar, umidade, entre outros. Utiliza memória programável para realizar as operações de: lógica, sequência, temporização, contagem; dentre outras. Essas funções são utilizadas para controlar vários tipos de processos por meio de entradas e saídas, analógicas ou digitais, do controlador (FRANCHI, 2009).

Os processos industriais necessitam de um controle para operar de forma segura e estável e embora necessitem abordar diferentes níveis de complexidade, possuem três partes bem definidas: os transdutores, os controladores e os atuadores (FRANCHI, 2009).

2.5.1 Elementos do CLP

O Controlador Lógico Programável é composto basicamente por um módulo ou interface de entrada e saída; uma unidade central de processamento, conhecida como *CPU (Central Processing Unit)*, uma fonte de alimentação, para fornecer tensão à *CPU* e às entradas e saídas e uma interface de comunicação; como representado na Figura 7 (FRANCHI, 2009).

Figura 7 - Blocos do CLP.



Fonte: Adaptado FRANCHI, 2009.

Os sinais de entrada são comandos externos recebidos pelo CLP, e podem se originar de dispositivos como chaves, botoeiras, sensores, dentre outros. Os sinais de saída são gerados pelo controlador e podem interferir diretamente no processo ou sinalizar algum estado. Como variáveis de saída é possível citar os sinais enviados aos contadores, válvulas, displays, lâmpadas (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

O princípio de funcionamento do CLP consiste na realização cíclica de um processo de leitura das entradas, na execução dos comandos programados pelo usuário e atualização as variáveis de saída. Esse ciclo é chamado de varredura, ou *scanning* e o seu período depende da velocidade do processador, tamanho do programa e quantidade e tipo de entrada e saída utilizadas (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

A CPU é composta pelo processador, um sistema de memórias, e do barramento. Nessa central é realizado o controle dos sinais de entrada de acordo com as funções programadas pelo usuário e em seguida são atualizados os sinais de saída. Para realizar as funções programadas, o CLP possui um sistema operacional

interno responsável por interpretar e realizar as instruções fornecidas pelo usuário. Este sistema é chamado de executivo, armazenado em um tipo de memória não volátil (FRANCHI, 2009).

O CLP é um controlador reprogramável, portanto as instruções gravadas pelo usuário são armazenadas em uma memória que permita que o programa seja facilmente alterado. No CLP S7-300, da Siemens, é utilizada o tipo de memória *flash*, que oferece facilidade na atualização do sistema dos equipamentos por *softwares* externos (FRANCHI, 2009).

A fonte de alimentação é responsável por converter a tensão da rede para os circuitos eletrônicos do CLP, fornecendo a alimentação para as entradas e saídas do dispositivo. Estes barramentos possuem limites tanto de tensão quanto de corrente, sendo necessário circuitos auxiliares para acionamentos que necessitem de outros valores de potência.

2.5.2 Linguagens de programação

A linguagem utilizada nos CLPs até o início da década de 90 não era padronizada, sendo utilizadas linguagens como C, *Basic*, *Forthran* e outras; tornando ineficiente a interação entre sistemas. Para unificar o modo de programação destes controladores, a *International Electrotechnical Commission* (IEC) criou a norma IEC-61131, padronizando características como *hardware*, instalação, comunicação e programação (CAPELLI, 2006).

As linguagens propostas pela norma são: Texto Estruturado; *Ladder*; Lista de Instrução; Diagrama de Blocos e *Grafcet* ou SFC (*Sequential Function Chart*). A linguagem *Ladder* é baseada na lógica de contatos, semelhante aos diagramas multifilares de comando elétrico de motores (CAPELLI, 2006).

2.6 SIMULADORES DE PROCESSOS DE AUTOMAÇÃO

Os *softwares* simuladores de processos são cada vez mais utilizados para a instrução e o melhor entendimento do funcionamento das técnicas de controle (STRIEDER; SCHUCH; FRIAS; 2006). Como são utilizados em ambientes virtuais, permitem ao praticante ter uma visão geral dos sistemas e seus comportamentos, sem a necessidade da construção de um protótipo real.

Apesar das facilidades oferecidas por esses programas, o sistema simulado apresenta um comportamento ideal e não um comportamento real do sistema. Os componentes necessários para o processo, o tratamento e condicionamento de sinal, os ajustes em campo, além dos aspectos construtivos de uma planta automatizada são verificados na implementação física da mesma ou em um protótipo experimental.

O simulador utilizado neste trabalho, como referência do protótipo da planta de automação, é o software *ITS PLC*, da empresa *Real Games*. De acordo com Riera e Vigário (2013), o *ITS PLC* é uma ferramenta para propósitos educacionais e de treinamento técnico, tendo sido reconhecido pelo por órgãos como o comitê multimídia do Ministério da Educação da França para essa finalidade. O programa apresenta uma interface interativa e amigável ao usuário, além de ser utilizado em disciplinas de instituições de ensino técnico.

2.6.1 *ITS PLC - Interactive Training System for PLC*

O *ITS PLC* consiste em um *software* para fins educativos que possibilita o treinamento da programação de CLPs em uma planta didática virtual. Este programa simula, em ambiente virtual 3D, alguns sistemas encontrados na indústria, possibilitando o controle do mesmo via CLP. Cada sistema possui sensores e atuadores que são comandados pelo CLP de modo a realizar o controle automático da planta.

A comunicação do *software* com o CLP é executada por meio de uma placa de aquisição de dados com 16 canais de entradas, 16 canais de saídas, e uma

interface *USB*. Desde modo é possível fornecer ao CLP os sinais recebidos virtualmente pelos sensores e enviar as instruções de execução para os atuadores da planta virtual executada pelo computador.

Figura 8 - ITS-PLC.



Fonte: RealGames, 2017.

O *software* oferece 5 tipos de sistemas industriais simulados:

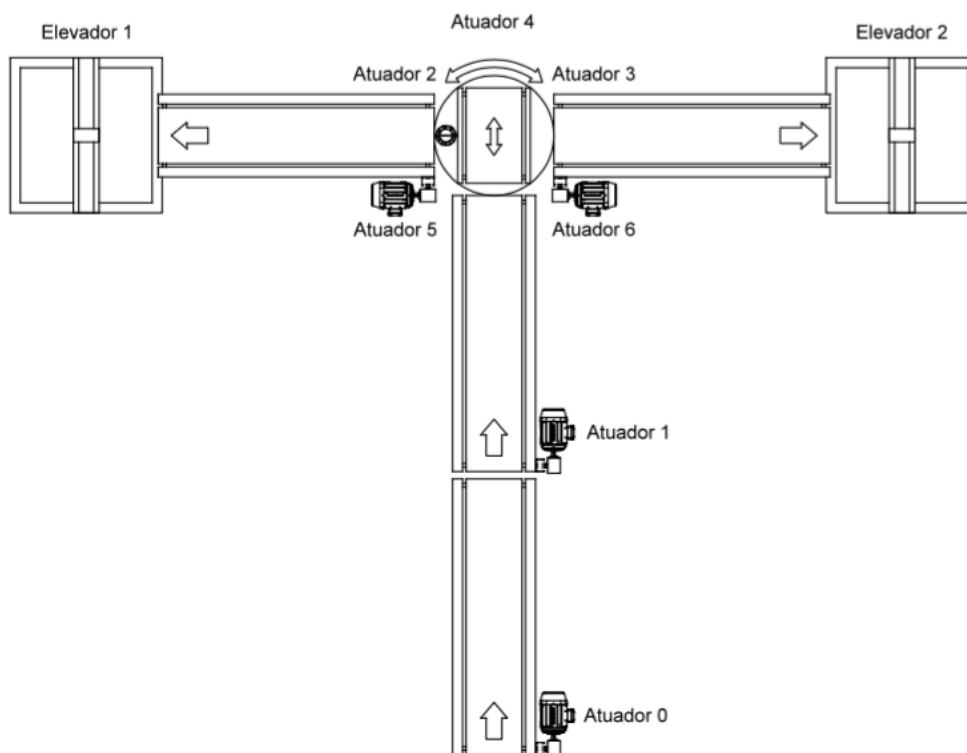
- *Sorting*: para a separação de caixas por altura em esteiras.
- *Batching*: mistura de três tintas de cores primárias com o controle do nível de cada tinta.
- Paletizador: organização e disposição de caixas e paletes em várias camadas.
- *Pick & Place*: inserção ordenada de peças dentro de caixas, através de um manipulador robótico.
- Armazém Automático: transportar, inserção e retirada de caixas de uma estante através de um sistema de deslocamento elevador XY.

2.6.1.1 Descrição do sistema de "*Sorting*"

O sistema de simulação utilizado como modelo para o protótipo de planta de automação neste trabalho, é o "*Sorting*", composto por um conjunto de esteiras transportadoras, que se movimentam de modo a separar caixas de dois tamanhos

diferentes para dois elevadores respectivos de saída do processo. Na Figura 9 é ilustrada a planta e a posição de seus atuadores:

Figura 9 - Fluxo e atuadores das esteiras transportadoras.

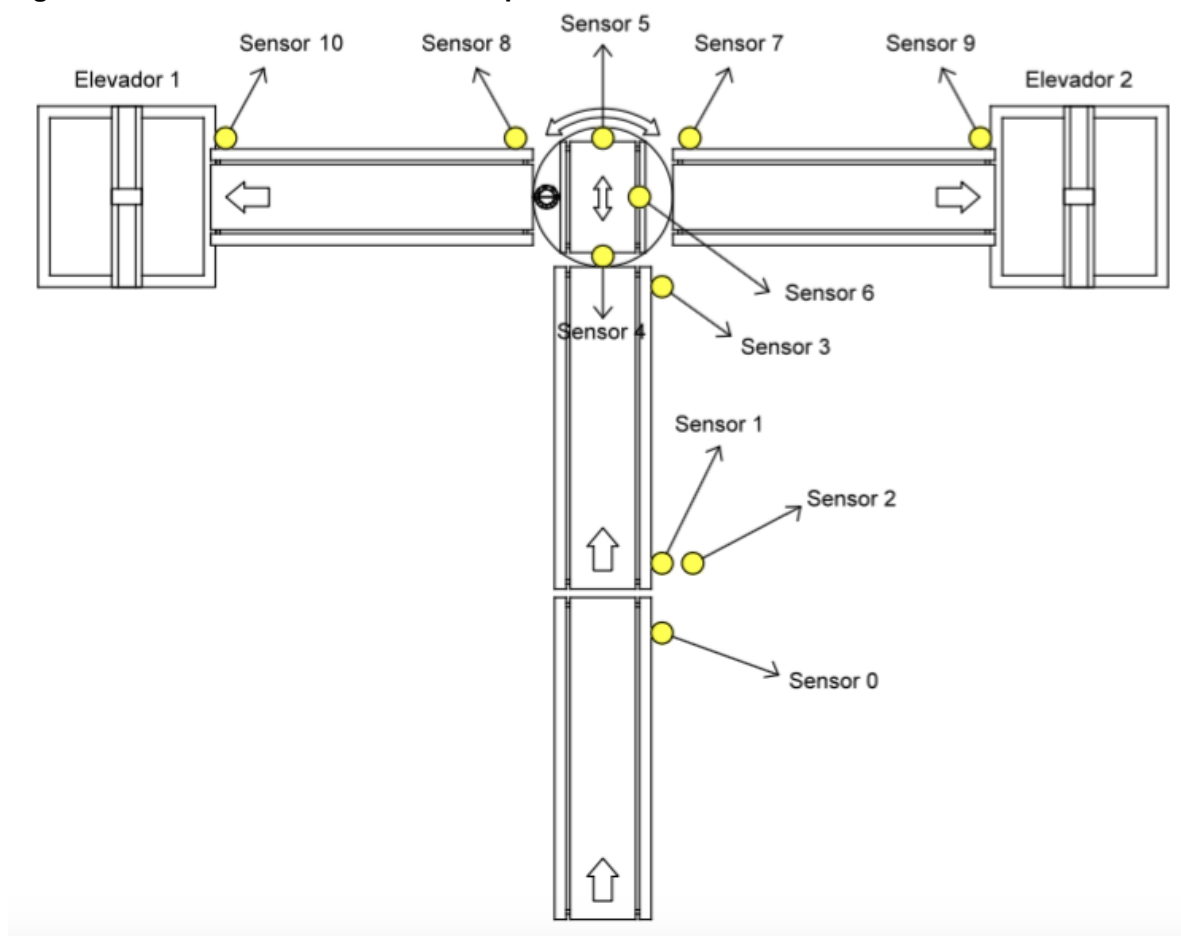


Fonte: Adaptado RealGames, 2011.

O sistema de separação é formado por duas esteiras de entrada, uma mesa rotativa e duas esteiras de saída. As caixas são inicialmente transportadas pela esteira de alimentação (atuador 0) e são direcionadas para mesa rotativa (atuadores 2, 3 e 4) pela esteira transportadora comandada pelo atuador 1. A mesa é responsável por distribuir as caixas de acordo com sua altura, para cada esteira de saída e elevadores 1 e 2.

Para detectar o tamanho e posição das caixas, além de separá-las, 11 sensores são distribuídos pela planta. A posição e a função de cada sensor estão exibidas na Figura 10 e Quadro 1, respectivamente:

Figura 10 - Sensores das esteiras transportadores.



Fonte: Adaptado RealGames, 2011.

Quadro 1 - Sensores da planta de esteiras.

Sensor	Descrição
0	Detector de saída da esteira do alimentador
1	Detector de altura inferior
2	Detector de altura superior
3	Detector de saída das mesas transportadoras de entrada
4	Detector da posição de carga da mesa rotativa
5	Detector da posição de descarga da mesa rotativa
6	Detector de palete na mesa rotativa
7	Detector de entrada da mesa transportadora de saída
8	Detector de entrada da mesa transportadora de saída
9	Detector de saída da mesa transportadora de saída
10	Detector de saída da mesa transportadora de saída

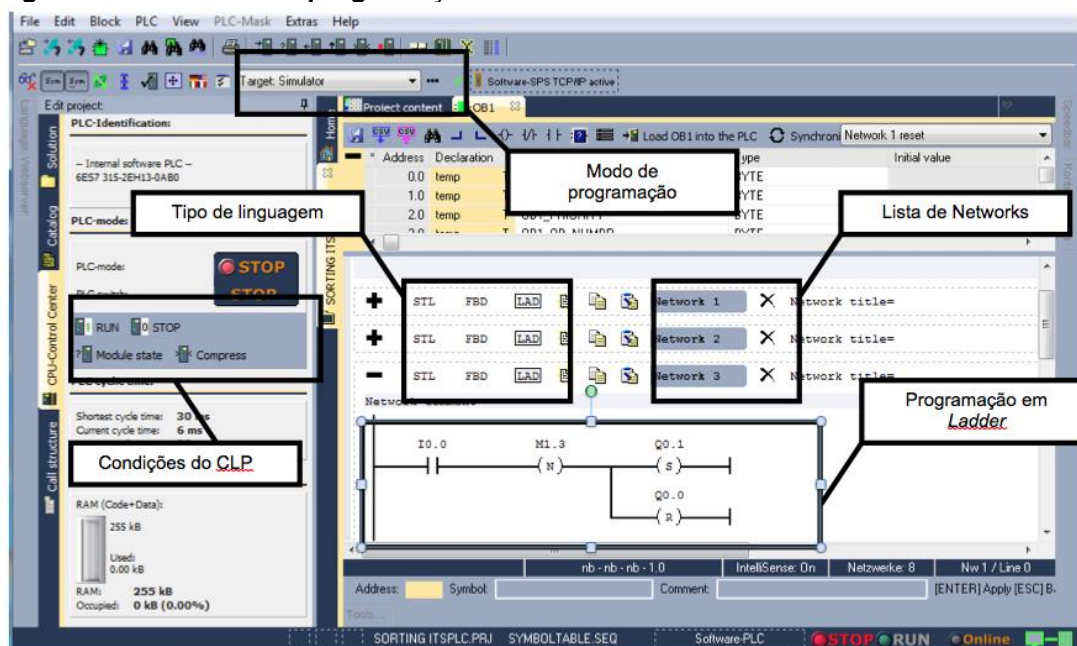
Fonte: Real Games (2011).

2.6.2 Software de programação do CLP : WinSPS s7 v5

A ferramenta utilizada para a programação e simulação do CLP foi o software WinSPS s7 v5, projetado para simulação de controladores da linha S7-300, da Siemens, e similares. O WinSPS permite a utilização das seguintes linguagens gráficas e estruturais de programação: Lista de instruções (STL); *Ladder* (LAD); Blocos Lógicos (FBD);

O ambiente de programação do WinSPS é o exibido na Figura 11:

Figura 11 - Ambiente de programação WinSPS.



Fonte: Autoria própria.

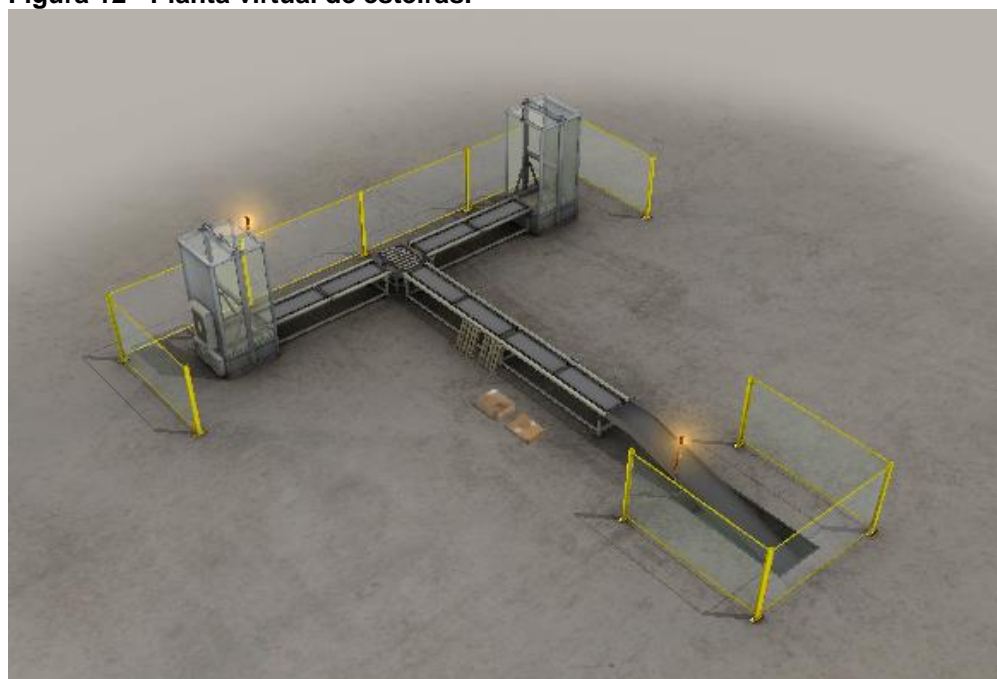
O WinSPS é um simulador que utiliza o mesmo código dos programas (e projetos) utilizados para os CLPs (SIEMENS, 2007), disponibilizando 3 linguagens de programação diferentes, incluindo a *Ladder*. Os diagramas de contatos podem ser elaborados utilizando os símbolos disponíveis, posicionados dentro de cada *Network* de acordo com a programação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha da planta de automação foi efetuada pela análise do *software* de simulação *ITS PLC*, utilizado como ferramenta para auxiliar no ensino da programação em CLP. O sistema selecionado para o protótipo é o “*Sorting*”, o qual consiste na separação de caixas de acordo com a altura e apesar da aparente simplicidade da aplicação, é o sistema disponibilizado pelo *ITS PLC* que apresenta maior número de variações do processo de automação e conseqüentemente maior abrangência de comandos do sistema.

Como mencionado, este sistema virtual possui 12 sensores *on-off* de presença e 7 atuadores. Os sensores são responsáveis pela detecção da posição e da altura das caixas em pontos específicos do sistema. Os atuadores são responsáveis pela movimentação das esteiras e da mesa giratória, realizando o deslocamento linear das caixas. Esta planta virtual de esteiras do *software ITS* é mostrada na Figura 12.

Figura 12 - Planta virtual de esteiras.



Fonte: RealGames, 2011.

3.1 SENSORES

Os sensores presentes na planta virtual do ITS PLC são todos discretos, ou seja, fornecem um sinal no nível lógico alto quando ativados e baixo quando inativos. São ativados na presença de objetos (caixas) ou posicionamento (mesa rotativa).

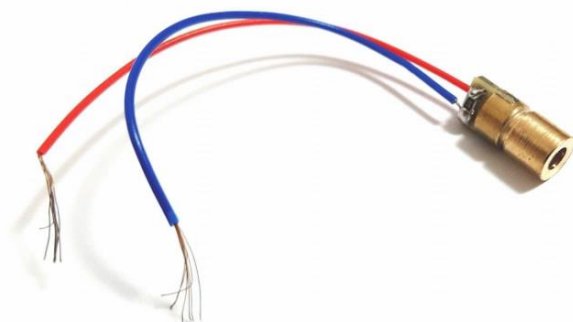
3.1.1 Sensor óptico aplicado no protótipo

Os sensores de presença foram definidos como opto acopladores, formados por um *LDR* e um diodo laser vermelho, como o receptor e transmissor do feixe luminoso respectivamente, para cada unidade sensora de presença. Este sensor foi definido devido à viabilidade dos componentes e à eficiência na detecção de objetos.

O *LDR* basicamente consiste em um material cuja resistência elétrica é variável com a intensidade luminosa incidente, i. e., um sensor de energia luminosa, disponível no mercado a preços acessíveis, em uma diversidade de valores e tamanhos, sendo adequado ao uso no protótipo. Porém, é um componente passivo, ou seja, por si só não produz um sinal elétrico para ser utilizado no controle, sendo necessária a utilização de estratégias de condicionamento de sinal conforme a energia luminosa modifique sua intensidade, tornando-o um sensor *on-off* (binário). O princípio de funcionamento do sensor é mostrado na Figura 2.

Como fonte emissora de luz optou-se por utilizar o diodo laser. Como vantagens em relação ao LED destaca-se que a direção do feixe emitido pelo laser é linear, enquanto o do diodo emissor de luz convencional se propaga em todas as direções (OTT, 1997). O laser aplicado possui uma tensão de 5v e uma corrente nominal de 25 mA. Quando em funcionamento, foi possível direcionar o feixe exatamente sobre o fotorresistor e, conseqüentemente, tornando o processo de detecção mais eficiente. O componente pode ser visualizado na Figura 13.

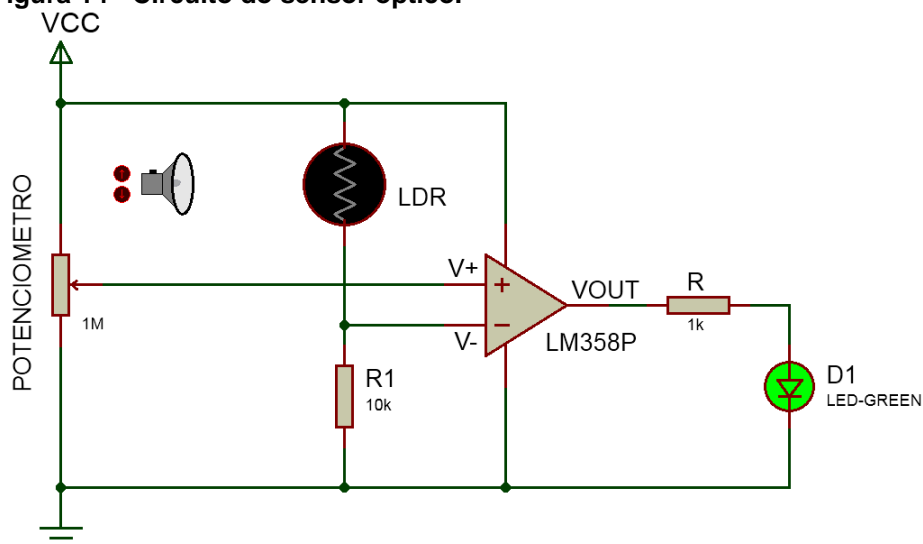
Figura 13 - Diodo laser 5 mW.



Fonte: Autoria própria.

Para se assemelhar ao funcionamento virtual do *ITS PLC*, o sensor utilizado emite uma saída baixa enquanto estiver exposto à fonte de luz, e alta quando o feixe de luz for interrompido. Para isso foi projetado um amplificador operacional operando como comparador, juntamente um divisor de tensão formado pelo *LDR*, como mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Circuito do sensor óptico.



Fonte: Autoria própria

O amplificador operacional ligado dessa forma compara as 2 tensões em suas entradas. A tensão na entrada não inversora do ampop é ligada à um

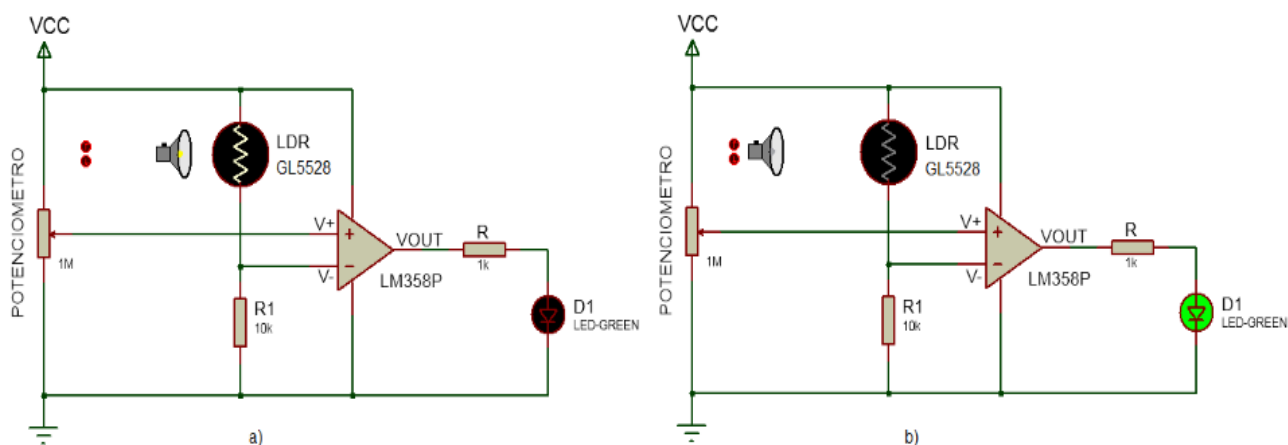
potenciômetro, permitindo controlar a sensibilidade do circuito à exposição luminosa, ajustando sua tensão de referência. Enquanto a tensão de entrada positiva ($V+$) for maior que a entrada negativa ($V-$), a tensão de saída (V_{out}) será a tensão de alimentação do circuito. Quando ocorrer o inverso, a saída V_{out} será a alimentação negativa do circuito, no caso 0V.

A tensão $V+$ é ajustável pelo potenciômetro e permite ajustar a faixa de operação do circuito sensor, de aproximadamente 0V até o valor máximo da fonte de alimentação (V_{CC}). A alimentação da entrada inversora do amplificador ($V-$) é determinada pelo divisor de tensão dependente da resistência do LDR e um resistor comum (R_1). Sendo assim a tensão ($V-$) é dada por (1).

$$V^- = \frac{V_{CC} \cdot R_{LDR}}{(R_1 + R_{LDR})} \quad (1)$$

Quando o feixe de luz incide diretamente sobre o LDR , sua resistência permanece baixa, cerca de 1,2 k Ω , já quando o feixe é interrompido, a resistência aumenta, variando $V-$ e possibilitando a detecção. O circuito foi simulado no software *Protheus* e é exibido na Figura 15.

Figura 15 - Funcionamento sensor óptico.



Fonte: Autoria própria.

O circuito da Figura 15 é mostrado em duas situações: a) e b). A primeira simula o feixe incidindo diretamente sobre o LDR , resultando em um pulso baixo (LED

D1 apagado). Já no caso b) é representada a interrupção do feixe pela passagem da caixa, resultando em uma saída alta do circuito, representada pelo LED D1 aceso.

Para construir o sensor foi utilizado: o CI LM358P, operando como amplificador operacional comparador, um potenciômetro utilizado para fazer o ajuste da tensão de referência, um resistor de 10k Ω , um *LDR* modelo GL5528 e um diodo laser vermelho de 5mW. Todo o circuito pode operar com uma tensão de até 36 Volts, suportando a tensão nominal de entrada do CLP S7-300 da Siemens.

3.2 ATUADORES

Os atuadores do protótipo de esteiras consistem em motores elétricos CC de baixa potência. Por se tratar de um protótipo, a potência exigida é pequena e as dimensões do motor precisam ser adequadas. Os motores escolhidos foram de 12V_{CC}, pela facilidade de acionamento e controle pela saída do CLP. O acionamento dos motores é feito de acordo com a ativação dos sensores presentes na esteira, de acordo com o código do programa.

O comando enviado aos motores são do tipo *on-off* em velocidade fixa, reduzida mecanicamente por engrenagens de redução. O motor utilizado pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16 - Motor elétrico CC utilizado.

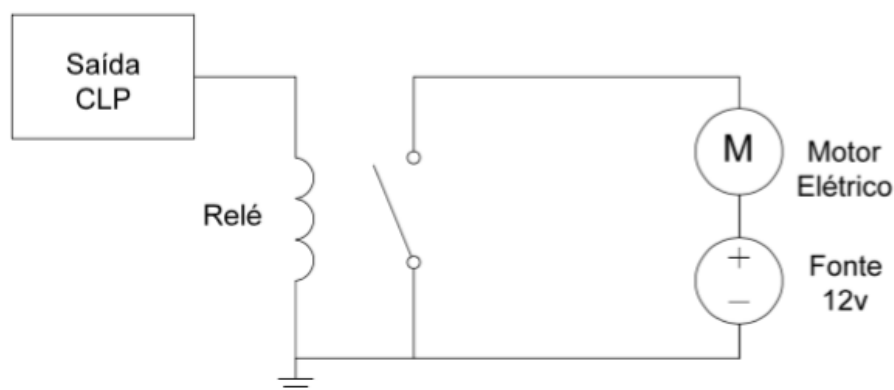


Fonte: Autoria própria.

O acionamento dos motores foi previsto inicialmente pela utilização de circuitos amplificadores de potência (*buffers*) como interface de potência, como o CI ULN2003A, que consiste em uma matriz de sete transistores bipolares *Darlington* que suportam uma ampla faixa de valores de tensão de alimentação, e suportam até 500mA de saída (com a possibilidade da ligação em paralelo para aumentar esta capacidade).

Para simplificar o projeto, eliminando circuitos e reduzindo a fiação, foi verificado que o *rack* em que se encontra o CLP a ser utilizado para controle do protótipo já possui fontes de alimentação de 24V_{CC} e 12V_{CC}, além de oito relés eletromecânicos de um contato com acionamento compatível com a tensão de saída do CLP. Deste modo os relés são utilizados para controle dos atuadores, exceto pela baixa frequência de operação, eliminando a necessidade de circuitos adicionais. Com exceção dos atuadores presentes na mesa rotativa, os demais não necessitam de inversão de sentido, portanto foram acionados de acordo com o diagrama da Figura 17.

Figura 17 - Diagrama de acionamento por relé.



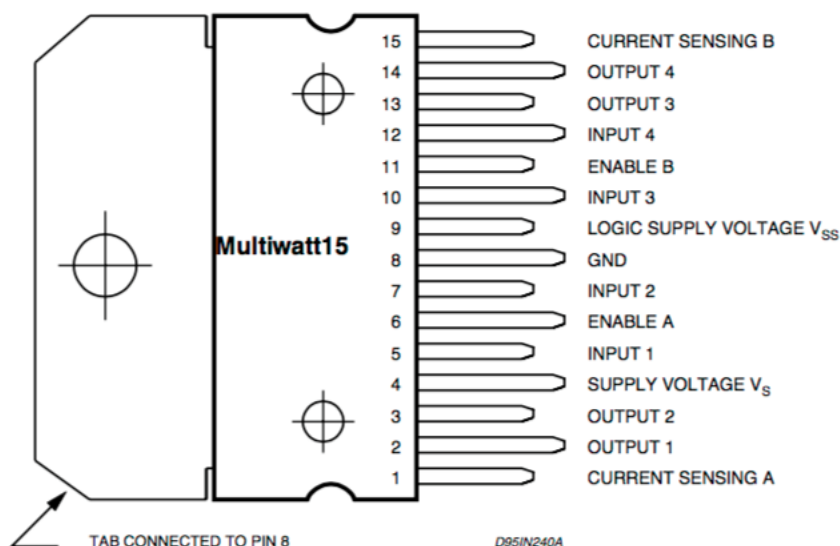
Fonte: Autoria própria.

A mesa giratória possui duas posições, sendo uma de carregamento e outra de retirada dos *pallets*. Para isso foram utilizados dois motores, o primeiro para realizar o movimento rotativo do eixo da mesa e o segundo para acionar a esteira da mesa tanto no sentido de carregamento, quanto no de descarga.

3.2.1 Regulação do sentido de rotação dos motores

Para realizar o controle do sentido de rotação do motor CC é necessário inverter a polaridade do sentido de seu campo magnético, ou seja, inverter a polaridade de sua alimentação. Para inverter o sentido de rotação do atuador foi utilizada uma ponte “H”, presente no circuito integrado LN298. O circuito integrado é constituído por oito transistores formando duas pontes “H”, acionados com lógica de intertravamento de cada ponte. Cada CI pode acionar e inverter o sentido de rotação de dois motores, cuja pinagem está apresentada na Figura 18.

Figura 18 - Circuito integrado LN298.

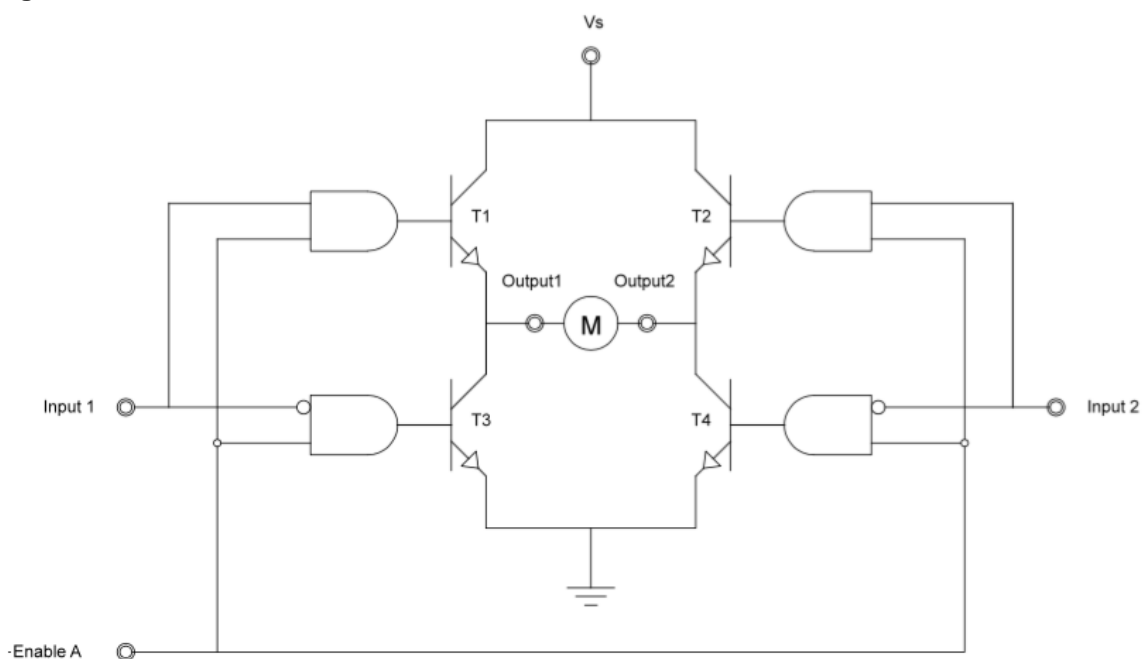


Fonte: STMicroelectronics, 2000.

Este componente opera com tensão de até 46V e suporta correntes máximas de 2A em corrente contínua. Os pinos *Enable* habilitam a ponte, e o sentido é determinado pelas entradas (*Input*) 1 e 2 para a primeira ponte e 3 e 4 para a segunda. O motor é conectado aos terminais de saída (*Output*) 1 e 2 para a primeira ponte e 3 e 4 para a segunda. Como os motores são de baixa potência, não há a necessidade de utilizar resistores para limitar a corrente nos pinos 1 e 15.

O chaveamento do sentido da corrente é feito de acordo com a tensão de alimentação dos pinos *inputs*. Um diagrama esquemático de uma das pontes do CI pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - Ponte "H".



Fonte: Autorial própria.

O Quadro 2 mostra o sentido de rotação de acordo com o nível lógico das entradas.

Quadro 2 - Tabela verdade ci 298.

Entradas		Função
Enable = Alto	Input 1 = Alto ; Input 2 = Baixo	Para frente
	Input 1 = Baixo ; Input 2 = Alto	Reverso
	Input 1 = Input 2	Motor Parado
Enable = Baixo	Input 1 = X ; Input 2 = X	Motor Parado

Fonte: STMicroelectronics, 2000.

3.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O controlador lógico programável utilizado para o protótipo é o modelo S7-300 da Siemens, como mostrado na Figura 20. O dispositivo é integrado a uma fonte de alimentação de 24V_{CC}, a CPU (modelo 314C-2 DP), um módulo de cinco entradas analógicas, duas saídas analógicas, e oito entradas digitais; e um módulo de dezesseis entradas digitais e dezesseis saídas digitais. Este equipamento possui capacidade de expansão em funcionamento de novos módulos, como o módulo adicional de dezesseis chaves (*switches*) de entrada (dezesseis entradas digitais).

Figura 20 - Vista CLP S7-300 no Kit.



Fonte: Autoria própria.

Este CLP possui a memória interna de 128 KB e interface de comunicação via rede industrial *Profibus DP*, com módulos fixados sobre um trilho DIN padrão presente na forma de um *kit* e interligados por um *bus* modular embutido no trilho. O *kit* em que está presente o CLP possui alguns periféricos, como um inversor de frequência para motores CA de até 1CV, uma IHM *touchscreen* Siemens, bornes de conexão das entradas e saídas do CLP, fonte de alimentação de 12V_{CC} e 24V_{CC}, duas botoeiras (uma com contato normalmente fechado e outra com contato normalmente

aberto), duas chaves bipolares, oito relés de um contato, dois potenciômetros de 10 voltas e 4 sinalizadores *leds* de cores diferentes.

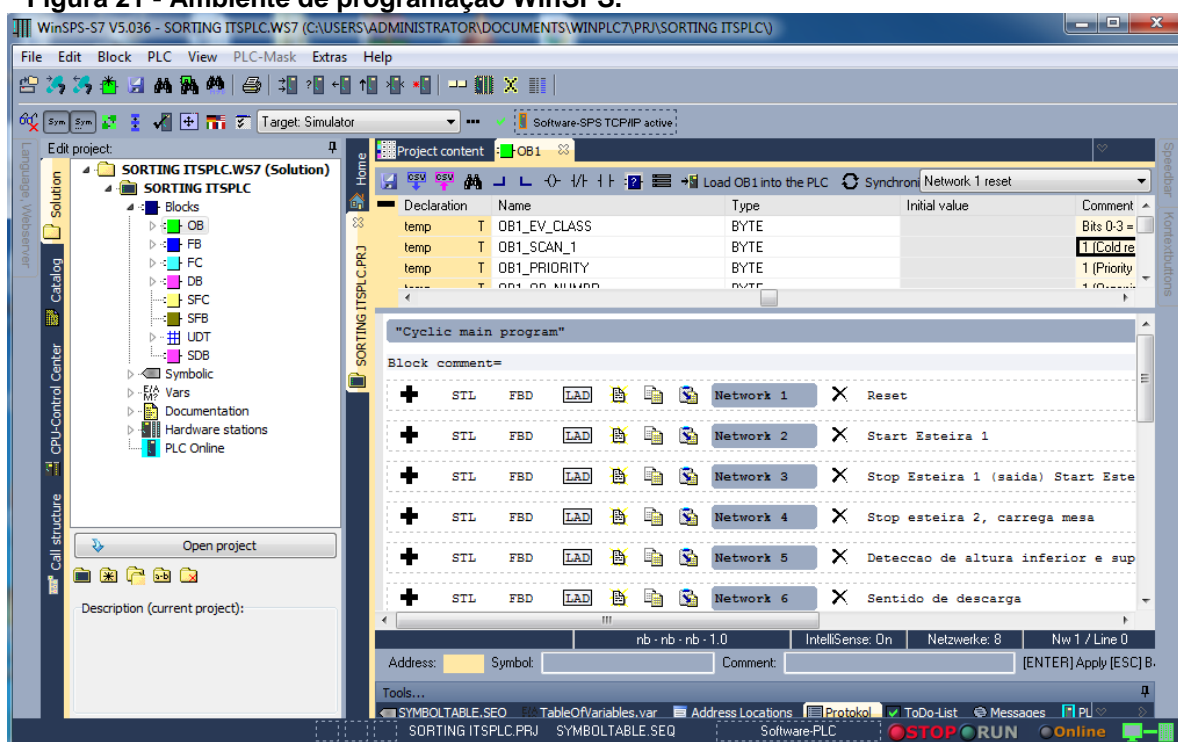
3.3.1 Programação e comunicação

A comunicação entre o usuário e o CLP é feita pelo *software Step 7*, próprio para ser utilizado com os modelos da linha S7-300 da Siemens. A transferência de dados do computador para o CLP é feita via cabo *MPI*.

O projeto para teste e funcionamento do protótipo da planta de automação foi desenvolvido inicialmente no *software WinSPS*, que simula o CLP utilizado para controle da planta e é compatível com os projetos elaborados no *Step 7*. O projeto no *WinSPS* necessita da configuração do *hardware* e *software* do CLP.

As configurações de *hardware* envolvem dados específicos da CPU, como os módulos de entrada e saída utilizados, interfaces de comunicação e outros componentes necessários para a aplicação. O ambiente de programação é mostrado na Figura 21.

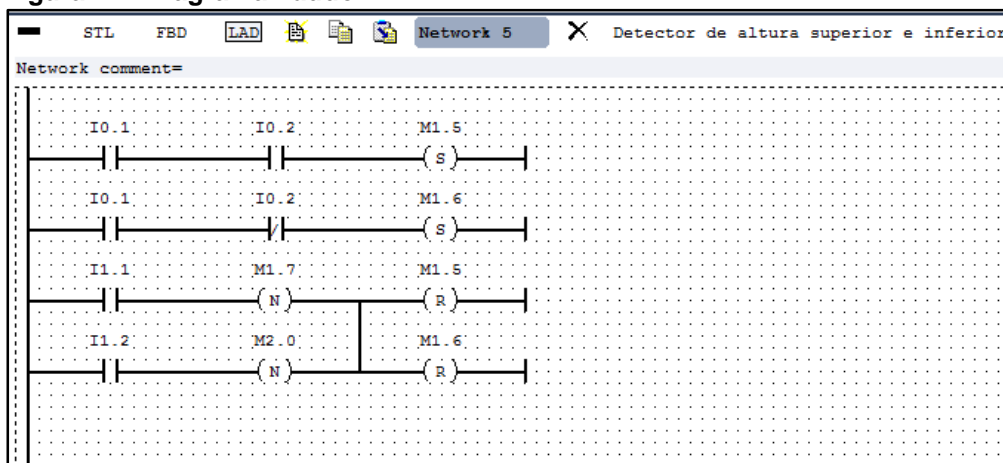
Figura 21 - Ambiente de programação WinSPS.



Fonte: Autoria própria.

O código para o projeto foi elaborado em linguagem *Ladder*, baseada em diagramas de contatos. Cada instrução é armazenada em um bloco principal, separado em *Networks*, para que o código fique mais simples e organizado. Um exemplo do código da planta é mostrado na Figura 22.

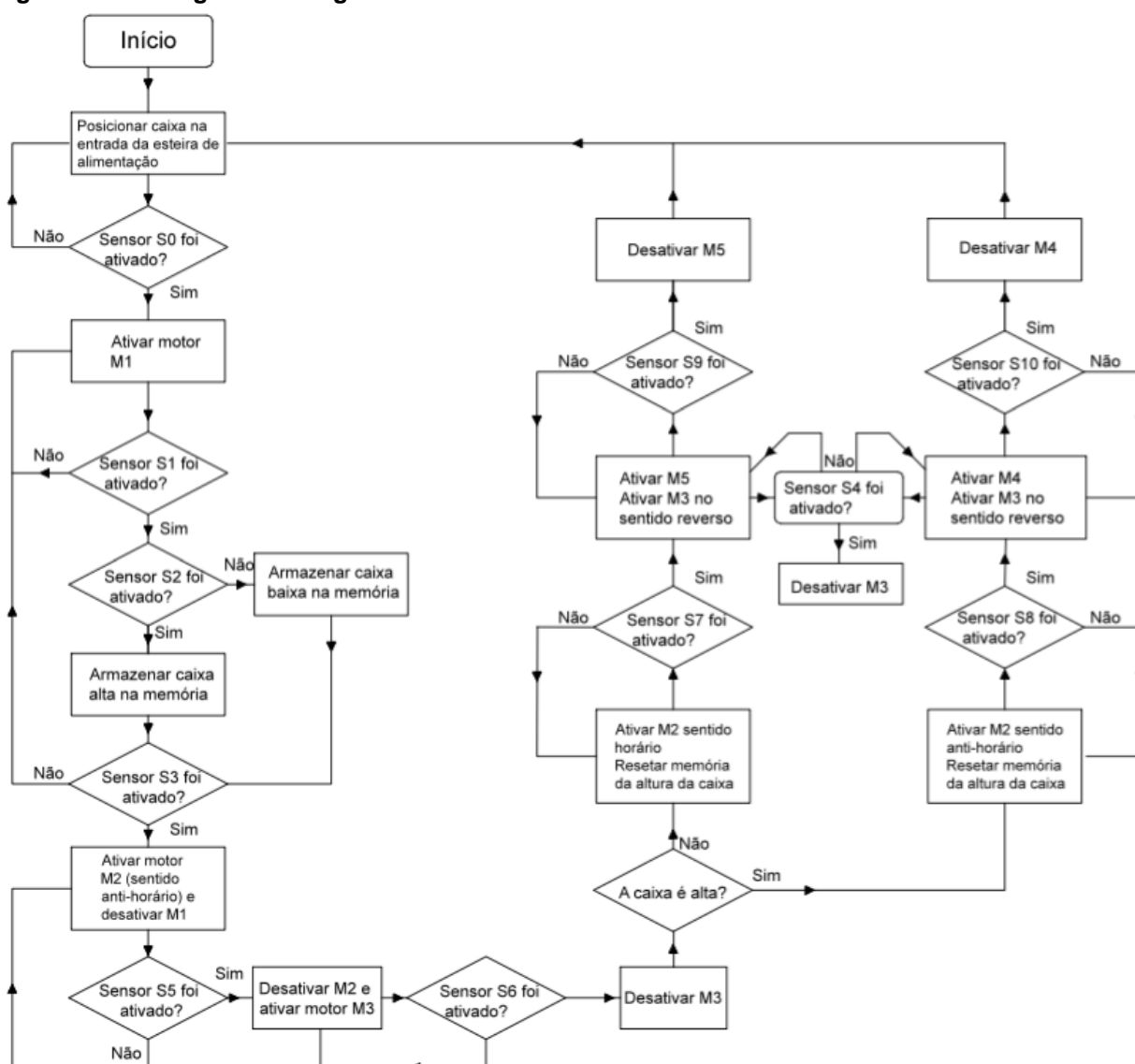
Figura 22 - Diagrama *Ladder*.



Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, para fins de testes e ajustes, foi elaborado um sistema de automação simples do protótipo, com os comandos de acionamento e desativação executados diretamente pelos sinais das entradas digitais do CLP, sem a utilização de uma interface adicional. A implementação da programação em Ladder segue o fluxograma mostrado abaixo na Figura 23.

Figura 23 - Fluxograma do algoritmo em *Ladder*.

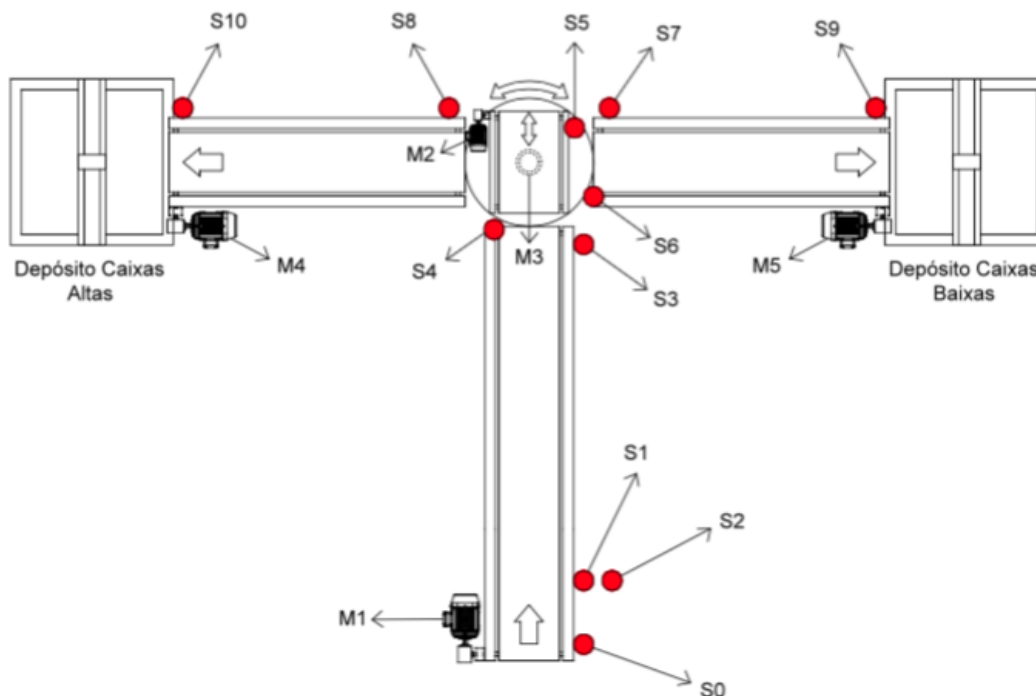


Fonte: Autoria Própria

3.4 PROTÓTIPO DAS ESTEIRAS TRANSPORTADORAS

O sistema de "Sorting" disponível no *software ITS-PLC* possui o diversas variáveis para controle, não sendo elas mandatórias para que o processo ocorra de forma correta e eficiente. O protótipo real construído teve algumas modificações em relação à planta virtual, as alterações foram feitas para simplificar a montagem e execução do processo, mas mantendo os principais pontos didáticos da planta. O layout do protótipo com as indicações de seus sensores e atuadores são apresentados na Figura 24.

Figura 24 - Layout protótipo de esteiras.



Fonte: Autoria própria

A protótipo possui uma esteira de alimentação central e duas esteiras de descarga, uma direita e outra esquerda, além da mesa giratória responsável por separar o material. O sistema possui no total 11 sensores de detecção de posição e 5 atuadores, sendo dois deles ligados à mesa giratória. No quadro 3 é identificado cada sensor mostrado na Figura 24.

Quadro 3 - Descrição sensores e atuadores do protótipo.

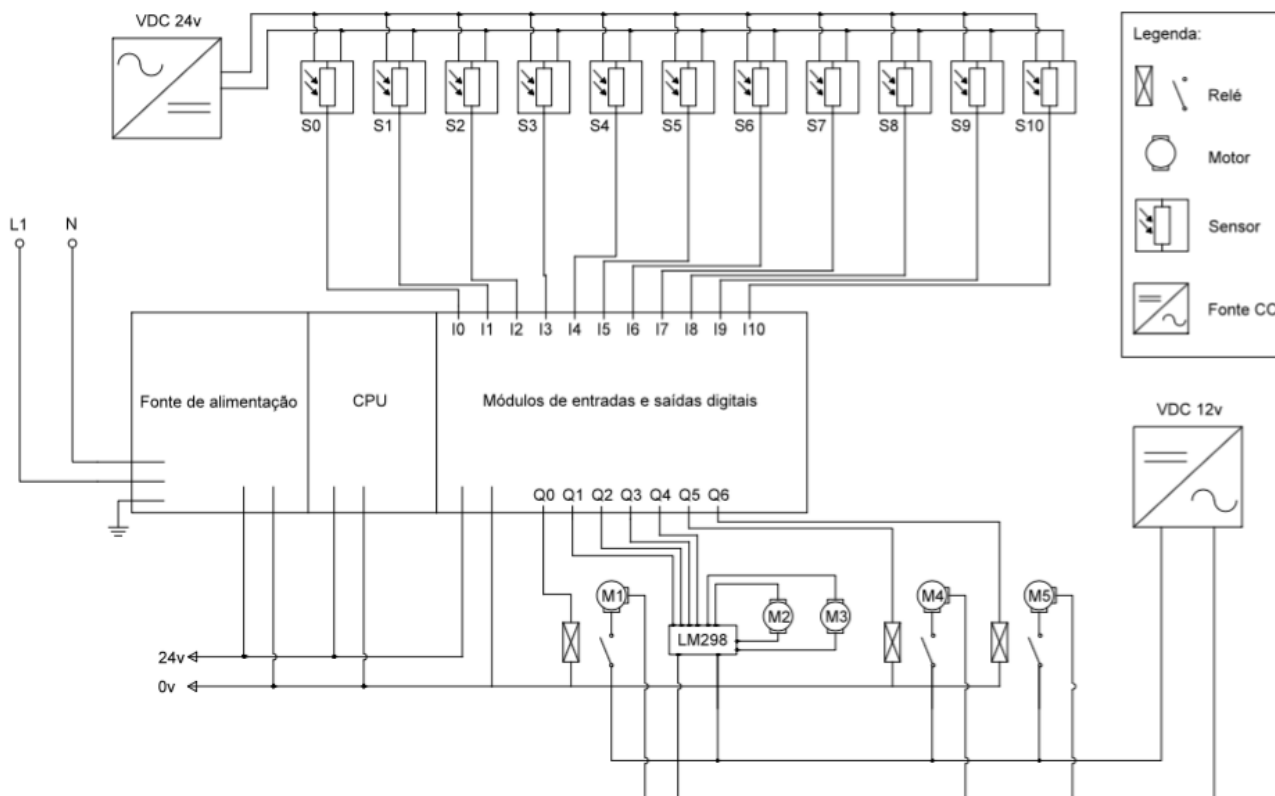
Sensor 0 (S0)	Detecção do início da esteira de alimentação.
Sensor 1 (S1)	Detecção de altura inferior.
Sensor 2 (S2)	Detecção de altura superior.
Sensor 3 (S3)	Detecção do final da esteira de alimentação.
Sensor 4 (S4)	Detecção de posição de carga da mesa rotativa.
Sensor 5 (S5)	Detecção de caixa na mesa rotativa.
Sensor 6 (S6)	Detecção de posição de descarga da mesa rotativa

Sensor 7 (S7)	Detecção do início da esteira direita.
Sensor 8 (S8)	Detecção do início da esteira esquerda.
Sensor 9 (S9)	Detecção do final da esteira direita.
Sensor 10 (S10)	Detecção do final da esteira esquerda.
Motor 1 (M1)	Atuador da esteira de alimentação.
Motor 2 (M2)	Atuador da esteira da mesa (2 sentidos de rotação)
Motor 3 (M3)	Atuador da mesa giratória (2 sentidos de rotação).
Motor 4 (M4)	Atuador esteira esquerda.
Motor 5 (M5)	Atuador esteira direita.

Fonte: Autoria própria.

Os atuadores M1, M4 e M5 foram acionados por relé, utilizando uma fonte externa de 12V_{cc}. Já os motores M2 e M3 foram conectados ao circuito integrado de ponte "H" para realizar o movimento tanto no sentido horário quanto no anti-horário. Os sensores foram alimentados por uma fonte de 24V_{cc} para gerar um sinal de saída na mesma faixa de tensão aceita pelo CLP. O diagrama elétrico com as ligações do protótipo estão na Figura 25.

Figura 25 - Diagrama elétrico.



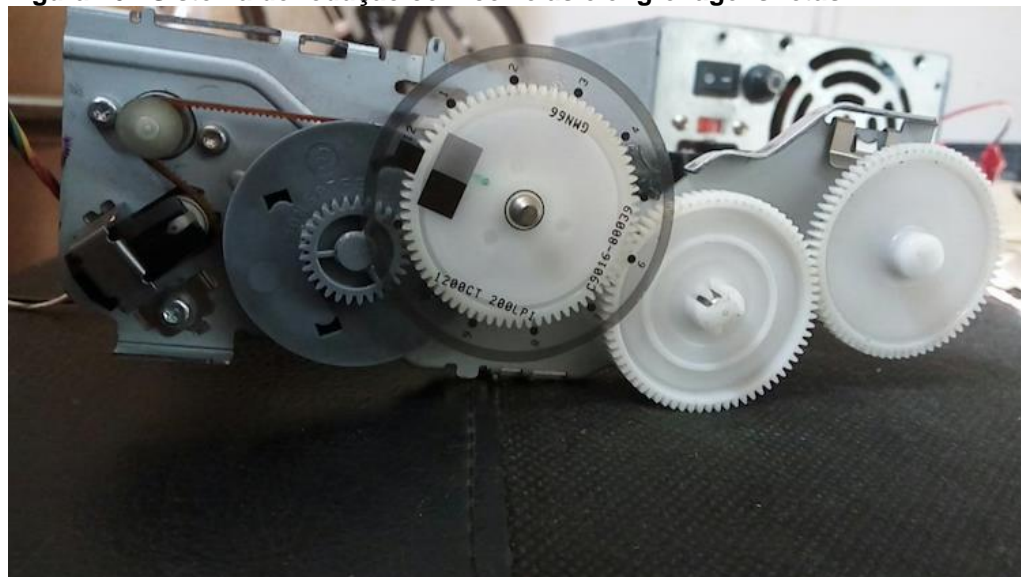
Fonte: Autoria própria.

A construção das esteiras para o protótipo foi feita visando a eficiência, viabilidade e o reaproveitamento de materiais e eletrodomésticos inutilizados. Foram construídas 3 esteiras similares e uma mesa rotativa central para realizar a separação. Cada motor foi acoplado a um sistema de redução, de modo a tornar a velocidade final da esteira adequada ao transporte das caixas. Um dos sistemas de redução é mostrado na Figura 26.

Este sistema de redução conta com engrenagens, polias e correias, que fazem com que a velocidade inicial fornecida pelo motor possa ser diminuída e assim, torne adequado o processo da esteira. A escolha das polias e engrenagens foi feita com base da disponibilidade dos materiais.

O conjunto é composto por engrenagens do tipo reta, que perdem potência a cada transmissão, principalmente por meio do atrito, e também por polias, que possuem menor perda. Em comum com esta engrenagem, porém apenas utilizada na mesa giratória, existe as engrenagens helicoidais, que são engrenagens mais utilizadas e transmitem velocidade com menos perdas, por conta da redução de ruídos e atritos. (BOLONHA, 2013).

Figura 26 - Sistema de redução com correias e engrenagens retas.



Fonte: Autoria própria.

Figura 27 - Sistema de engrenagens helicoidais.



Fonte: Autoria própria.

O material utilizado de apoio para os mancais e suporte de cada esteira foram construídos em madeira e tem dimensões de 340mm de comprimento, 140mm de largura e 130mm de altura e pode ser visualizado na Figura 28.

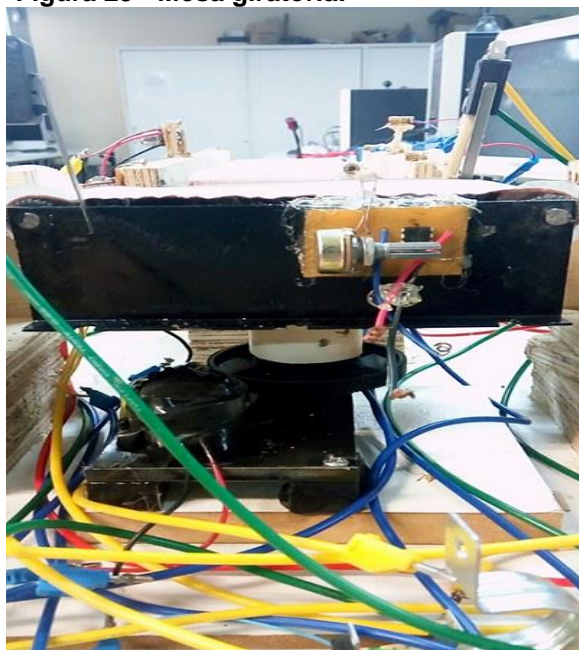
Figura 28 - Suporte de madeira para a esteira.



Fonte: Autoria própria.

A mesa giratória foi construída com dois motores acoplados, com suas respectivas reduções. O movimento de rotação da mesa é feito pelo motor afixado na base do suporte. Já a esteira da mesa opera com um sistema de transmissão semelhante aos das demais. A mesa tem dimensões de 120 mm de comprimento, 80 mm de largura e 130 mm de altura e é construída por componentes de metal, com a base feita em madeira e é mostrada na Figura 29.

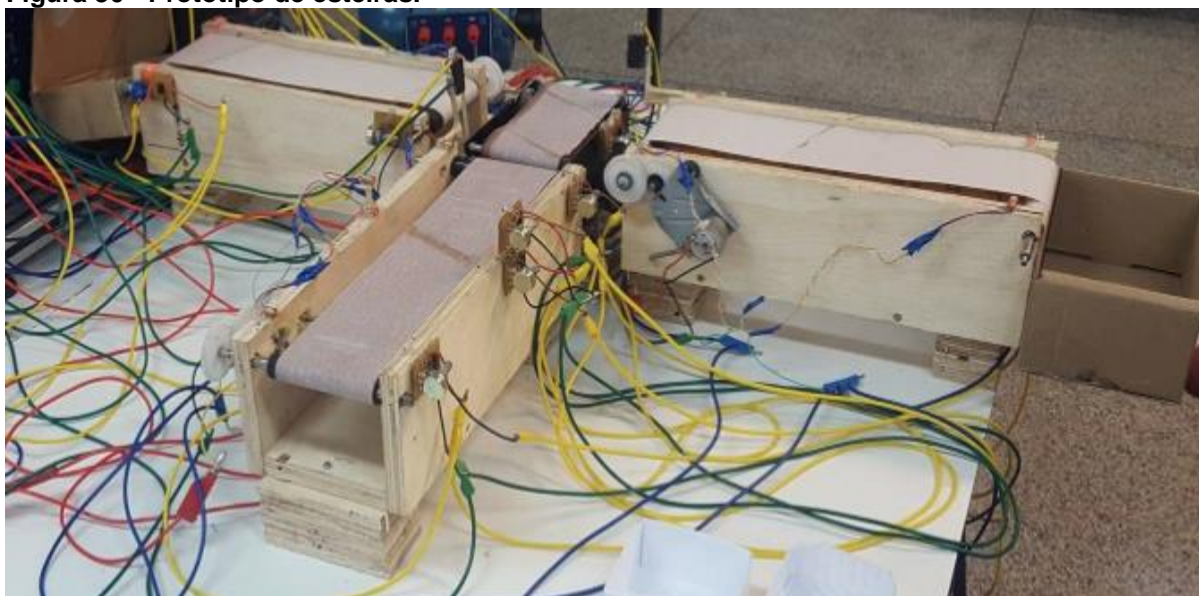
Figura 29 - Mesa giratória.



Fonte: Autoria própria.

As 4 esteiras foram feitas utilizando tiras de lixa em papel, o material foi escolhido por apresentar resistência, flexibilidade, viabilidade e aderência adequadas para a utilização do protótipo. Cada esteira possui dimensões de 340mm de comprimento e 80mm de largura, com exceção da esteira da mesa, que possui um comprimento de 120 mm. O sistema completo pode ser visualizado na Figura 30.

Figura 30 - Protótipo de esteiras.



Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O componente escolhido para desempenhar a função de detectar a presença das caixas nas esteiras foi o LDR. Um dos objetivos do trabalho foi condicionar o sinal do fotorresistor, de modo que o CLP o reconhecesse de forma eficiente e o processo pudesse ocorrer sem falhas.

Mesmo não sendo um dispositivo voltado para o uso profissional, o fotorresistor se mostrou eficiente e, apesar da resposta ao estímulo não ser considerada instantânea, foi adequada para a aplicação no protótipo. A diodo laser utilizado como emissor de luz gera um feixe de luz que incide de forma linear sobre o LDR. Isso permite utiliza-lo à uma distância maior se comparados aos LEDs comuns.

Foram escolhidos motores de corrente contínua de $12V_{CC}$ para movimentar as esteiras e a mesa central da planta. Os atuadores possuem uma elevada velocidade nominal, não podendo ser aplicados sem antes reduzi-la à um valor aceitável para o transporte das caixas. Com a redução aplicada aos motores foi possível estabelecer a velocidade e torque adequados para movimentar as esteiras e carregar as caixas, ambos construídos em materiais leves.

Apesar da pequena potência dos motores, a escolha do acionamento foi por relé, pois estão disponíveis no *kit* XC103. Dois dos atuadores tiveram seus sentidos de rotação controlados, para isso foi utilizado um circuito integrado com duas pontes H conectadas à saída do CLP e aos motores para realizar o acionamento.

A planta de esteiras foi controlada pelo CLP programado em *Ladder*. No caso deste protótipo, o uso da linguagem torna o processo mais claro e de fácil visualização. Isso ocorre devido à simplicidade do sistema, sem muitas etapas de operação. Para um processo mais complexo, é indicado o uso de linguagens de um nível mais elevado, já que os diagramas à relé e bobinas se tornam bastante extensos e de complicada visualização.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A ideia central do trabalho foi a construção de um protótipo real do sistema, visando aumentar o conhecimento na área de automação. O projeto e montagem do sistema foi executado visando a viabilidade econômica e simplicidade, com a eficiência necessária para o funcionamento correto da planta. Para isso, todo o material utilizado na montagem foi de baixo-custo, como os LDRs utilizados nos sensores, ou reaproveitado de equipamentos em desuso. O projeto foi dividido basicamente dividido em 4 partes: sensores, atuadores, programação e comunicação e a montagem das esteiras.

Dentre os diversos tipos de sistemas existentes, o escolhido para ser o foco do trabalho foi o de "Sorting". Esse processo está presente nos mais variados tipos de indústrias, independente do produto fabricado. Ele é apresentado aos alunos da instituição na forma virtual pelo *software ITS-PLC* da empresa RealGames, possibilitando aumentar a familiaridade com o processo, mas sem estabelecer uma noção real das dificuldades do funcionamento da planta de esteiras.

O principal componente dos sensores de posição é o LDR, mas para utilizá-los como tal foi necessário projetar um circuito elétrico para o condicionamento do sinal, de modo que tivesse um funcionamento similar ao do software e estivesse dentro da faixa de operação de tensão do controlador. Mesmo não tendo uma resposta instantânea ao estímulo, o fotorresistor funcionou adequadamente para a função estipulada.

A escolha dos atuadores do protótipo foi baseada na demanda de potência e na facilidade do controle. Os motores de CC de 12V se mostraram suficientes e adequados para a planta, que possui dimensões reduzidas. O controle feito nesses dispositivos foi do tipo liga/desliga e também o sentido de rotação, controlado por um CI de ponte H.

O CLP foi programado em *Ladder*, uma linguagem simples e visual, ideal para processos mais enxutos como o protótipo construído. A comunicação foi feita diretamente do computador para a CPU do controlador, pela simplicidade do processo não foi mandatória a criação de uma interface adicional.

A construção da planta automatizada trouxe a necessidade de resolver diversos problemas não presentes no sistema virtual, requerendo a aplicação de conhecimentos de diversas áreas da engenharia para sua solução.

A planta também possui espaço para futuros melhoramentos, por ser um protótipo, esta versão pode ser incrementada em diversos aspectos. As modificações podem ser na utilização de um sensor mais preciso, que tenha uma resposta mais rápida e menos influência do ambiente externo. Também é possível implementar uma interface de operação para o usuário oferecendo detalhes do funcionamento e realizar controle mais sofisticado dos atuadores, permitindo uma velocidade regulável, dentre outros fatores.

6 REFERÊNCIAS

- ASHLOCK, D.; WARREN A. **The Engineer's Guide to Signal Conditioning**. National Instruments , 2015. Disponívem em: < ni.com/compactdaq>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- BANERJEE, Arijit. **What a Prototype Is (and Is Not)**. UxMagazine. Art.:1345. 2014.
- BOLONHA, Rafael de Oliveira. **Engrenagens – tipos e aplicações**. Brasil, 2013. Disponível em: <<http://engdofuturo.com.br/engrenagens/>>. Acesso em 19 de maio de 2017.
- BOLTON, W. Programmable Logic Controllers. Burlington, MA: Elsevier, 4ª ed. 2006.
- CAMPILHO, Aurélio. **Instrumentação Eletrônica. Métodos e Técnicas de Medição**. 2. ed. FEUP Edições, 2013.
- CHAPMAN, Stephen J. **Electric machinery fundamentals**. 5. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2012. xxiv 680 p. ISBN 978-0-07-3529547.
- CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2006. 236 p. ISBN 9788536501178.
- COELHO, J.P http://www.ipb.pt/~jpcoelho/downloads/SeA_.pdf
- FRANCHI, Claiton Moro. **Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos**. 2. ed. São Paulo, SP: Érica, 2009. 352 p. ISBN 9788536501994.
- FRANCISCO, Antônio. **Motores Elétricos**. 1a Edição. Editora ETEP, 2008.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. xiii, 648 p. ISBN 9788560031047.
- GHELLERE, Guilherme. **LDR - Light Dependent Resistor: resistor variável de acordo com incidência de luz**. Materiais Elétricos: Compêndio De Trabalhos Volume 7, 2010.
- JÚNIOR, FRANCISO A. da S.; SILVA, MARCOS P. S. **Eletrônica Digital: Lógica**

combinacional e sequencial. SENAI, Fortaleza, 2004. 177p.

LOURENÇO, ANTONIO C. de; CRUZ, EDUARDO C. A.; FERREIRA, SABRINA R.; JÚNIOR, SALOMÃO C. **Circuitos digitais.** 5 ed. SP. Érica, 2002. 321 p. ISBN : 8571943206.

NEOYAMA. Catálogo Eletrônico. Disponível em: <
<http://www.neoyama.com.br/produtos/micromotores/micro-motor-dc/?catalogoCompleto>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

OTT, Melanie. **Capabilities and reliability of LEDs and laser diodes.** International NASA Parts and Packaging Publication. 1996. p. 1–7.

PINCKNEY, Nathaniel. **Pulse-width modulation for microcontroller servo control.** IEEE Potentials, v. 25, p. 27-29, Jan-Feb 2006.

PORTESCAP. **Product Catalog.** 2016. Disponível em: <
http://www.portescap.com/sites/default/files/Digital_Product_Catalog.pdf.zip>. Acesso em: 15 mai 2017.

RIERA, B; VIGÁRIO, B. **Virtual systems to train and assist control applications in future factories.** 12th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems. Las Vegas, NV, USA, 2013

ROCKWELL. **Fundamentos de Detecção de Presença.** 1999. Disponível em: <
<http://www.rockwellautomation.com/global/literature-library/overview.page>>. Acesso em 6 mai. 2017.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth Carless. **Microeletronica.** 5.ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2007. 848 p. ISBN 9788576050223.

SIEMENS. **User Manual WinPLC7 V4.** 2007. Disponível em: <
<https://www.prosoft.ru/cms/f/367435.pdf>>. Acesso em : 24 abr. 2017.

SILVEIRA, P. R; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto.** 1. ed. São Paulo: Érica, 1998. ISBN 85-7194-591-8.

SOUZA, M. F.; FARINES, J.; QUEIROZ, M. H. **Modelagem e verificação de programas em diagrama Ladder para controladores lógicos programáveis.** XVIII Congresso Brasileiro de Automática, Florianópolis. 2010.

STMICROELECTRONICS. **L298 - Dual full-bridge driver**. Itália. 2000. Disponível em: <
<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/82/cc/3f/39/0a/29/4d/f0/CD00000240.pdf/files/CD00000240.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000240.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

STRIEDER, André; SCHUCH, Cristina; FRIAS, Alessandro. **Utilização de simuladores de processos como ferramenta para o ensino de Engenharia**. Revista Ciência e Tecnologia. São Paulo. v. 9, n. 14, 2006.

TOCCI, RONALD J.; WIDMER, NEAL S.; MOSS, GREGORY L. **Sistemas digitais: Princípios e aplicações**. 10 ed. SP. Person Prentice hall, 2007. 804p. ISBN: 9788576050957.

Thomazini, Daniel. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**, Editora Érica LTDA, São Paulo, 2005.

WEG. **CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA E CONVERSORES CA/CC**. Disponível em: <
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-3-caracteristicas-e-especificacoes-de-motores-de-corrente-continua-conversores-ca-cc-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2016.

WEG. **Guia Prático de Treinamento Técnico Comercial: motor elétrico**. Rev. 15, Jaguará do Sul. 2016.