

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**PAULO CESAR BEALUKA**  
**YURI DURSKI**

**PROJETO DE ROBÔ MANIPULADOR PNEUMÁTICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2014**

**PAULO CESAR BEALUKA**

**YURI DURSKI**

## **PROJETO DE ROBÔ MANIPULADOR PNEUMÁTICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Esp Fábio Júnior Alves Batista

**PONTA GROSSA**

**2014**



---

TERMO DE APROVAÇÃO  
PROJETO DE ROBÔ MANIPULADOR PNEUMÁTICO

por

Paulo Cesar Bealuka e Yuri Durski

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11/12/2014 como requisito parcial para a obtenção do título Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Esp Fábio Júnior Alves Batista  
Prof. Orientador

---

Prof. Dr Hugo Valadares Siqueira  
Membro titular

---

Prof. Msc Jeferson José Gomes  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedicamos este trabalho a Deus que nos  
proporciona a vida, e aos nossos  
familiares, pelo apoio e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a meus pais Fernando e Rosângela pela confiança que sempre tiveram em mim, pelo apoio em todos os momentos, graças a eles e por eles luto todos os dias para que me vejam com orgulho.

Agradeço minha irmã Fernanda e também aos meus amigos e colegas de trabalho pelo apoio, pelas dúvidas tiradas e por entenderem os momentos de ausência para que esse projeto fosse concluído, enfim obrigada a todos que de alguma forma contribuíram para que este projeto fosse concluído.

Yuri Durski

Aos meus pais Hélio e Claudia, pois sou agraciado por tê-los em minha vida, por todo incentivo, dedicação e apoio que gratuitamente foram doados neste período.

Ao meu querido irmão Leandro por todo apoio, atenção e carinho oferecido.

À minha esposa Alana, a qual demonstrou tamanha paciência nos momentos em que não fui presente, e por todo auxílio intelectual e espiritual dispensado neste período.

Ao meu filho Miguel que me deu inspiração e todo objetivo para concluir esse trabalho.

Paulo Cesar Bealuka

A todos os professores do Departamento de Eletrônica pelos conhecimentos transmitidos.

## RESUMO

**DURSKI, Yuri, BEALUKA, Paulo C.. Projeto de robô manipulador pneumático.** 2014. 39 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Este trabalho propõe o projeto de um manipulador robótico do tipo cartesiano, de baixo custo, voltado para ensino. Durante este trabalho, será apresentado e discutido todo um conjunto básico de conhecimentos necessários para a construção de um manipulador. Neste projeto serão apresentados os tipos de robôs existentes, e será explicado sobre os graus de liberdade dos movimentos de um manipulador. Serão mostrados alguns tipos de manipuladores robóticos, bem como suas características. Será apresentado projeto escolhido para a construção do manipulador pneumático proposto por este trabalho, bem como a programação e instalação do projeto, relatando também configurações necessárias para operação correta do manipulador. Logo após se apresenta a interface de controle desenvolvida, e por fim, tem-se as considerações finais a cerca deste trabalho, bem como propostas para execução em trabalhos futuros utilizando o manipulador projetado.

**Palavras-chave:** Manipulador, Pneumática, Robótica, Robô Revoluto, Servo Motor, Motor de passo.

## ABSTRACT

DURSKI, Yuri, BEALUKA, Paulo C... Project of pneumatic manipulator. 2014. 39 sheets. Conclusion Work Course Technology in Industrial Automation - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

This work presents the project of a robotic manipulator of the cartesian type, of low cost and teaching purposes. During this work will be shown and discussed all of the basic set of needed knowledge to build a manipulator. In this project it will be presented the existent type of robots and it will be explained about the movement freedom degrees of a manipulator. It will be shown some types of robotic manipulators, as well as its characteristics. It will be presented the chosen project to build a pneumatic manipulator proposed by this work, as well as the programming and installation of the project, also reporting necessary configurations to correct operation of the manipulator. Soon after, it is presented the developed control interface, and lastly, there are the final consideration about this task, as well as execution suggestions in future works using the designed manipulator.

**Keywords:** Manipulator, Pneumatics, Robotics, Revoluto Robot, Servo Engine, Stepper Motor.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico / Digital
ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	<i>Automatic Guided Vehicle</i>
AI	Analog Input
AO	Analog Output
ARM	<i>Advanced RISC Machines</i>
CH	<i>Channel</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Comando Numérico Computadorizado
COM	<i>Component Object Model</i>
CPU	<i>Central Processing unit</i>
DCOM	<i>Distributed Component Object Model</i>
DI	Digital Input
DO	<i>Digital Output</i>
EDS	<i>ElectroStatic Discharge</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-only Memory</i>
ESD	<i>Electrostatic discharge</i>
GM	<i>General Motors</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
LAHP	<i>Laboratório de Hidráulica e Pneumática</i>
LAUT	<i>Laboratório de Automação</i>
MIMO	<i>Multi Input- multi output</i>
MV	<i>Variável medida</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
OPC	OLE Process Control
OUT	<i>Saída</i>
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
RIA	<i>Robotics Industries Association</i>
SP	Setpoint
SRI	<i>Stanfor Research Institute</i>



UTFPR      Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
XA          Extended Automation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Robôs na linha de montagem .....	14
Figura 2 - Trabalhos manuais na linha de montagem .....	18
Figura 3: Robô desenvolvido por Roy J. Wesley.....	19
Figura 4: Robô Eletrônico.....	20
Figura 5: Diagrama das partes do robô.....	23
Figura 6: Design da CPU do CLP S7 300 da Siemens. ....	25
Figura 7: Ciclo de processamento do CLP.....	25
Figura 8 - Visão geral do controlador SLC 500. ....	28
Figura 9: Planta didática do laboratório de automação da UTFPR - Câmpus Ponta Grossa.....	29
Figura 10: Esquema da Planta didática.....	29
Figura 11: <i>Layout</i> esquemático do robô manipulador. ....	31
Figura 12: Fluxograma do Processo .....	32
Figura 13:Interface do sistema 800xA.....	35
Figura 14: Interface do sistema proposto .....	35
Figura 15:Tela gráfica do <i>faceplate</i> .....	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 TEMA DA PESQUISA.....	14
1.1.1 Delimitação do tema .....	14
1.2 PROBLEMA .....	15
1.3 HIPÒTESE.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 Objetivo Geral.....	15
1.4.2 Objetivo Específico .....	15
1.5 JUSTIFICATIVA.....	16
1.6 MÉTODO DA PESQUISA .....	16
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
2.1 COMPONENTES DE UM ROBO .....	20
2.1.1 Sensores.....	20
2.1.2 Atuadores robóticos .....	21
2.1.3 Manipuladores .....	21
2.1.4 Engrenagens.....	22
2.1.5 Elementos elétricos.....	22
2.2 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS .....	23
2.2.1 Vantagens e Desvantagens de um CLP .....	26
2.2.2 Arquitetura do CLP .....	26
2.2.2.1 Processador do CLP.....	26
2.2.3 CLP Rockwell - SLC 500 .....	27
2.2.3.1 Recursos do CLP Rockwell - SLC 500.....	28
2.3 LAYOUT DO LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO.....	29
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA</b> .....	<b>30</b>
3.1 FUNCIONAMENTO DO ROBÔ .....	30
3.2 CONFIGURAÇÃO DO CLP .....	31
3.3 SOFTWARE DESENVOLVIDO .....	31
3.3.1 Comunicação do CLP com a Interface gráfica.....	34
3.4 INTERFACE DO SISTEMA 800XA.....	34
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
4.1 TRABALHOS FUTUROS .....	37
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria moderna e também em laboratório de ensino e pesquisa, cada vez mais estão sendo utilizados diversos tipos de robôs em processos de manufatura, embalagem, seleção de materiais ou em controle da qualidade.

Existem muitas definições diferentes, dependendo do ponto de vista e, em geral, da área na qual se trabalha com os robôs. A definição oficial do termo robô foi estabelecida pela Associação das Indústrias de Robótica (RIA): “Um robô industrial é um manipulador reprogramável e multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas e dispositivos especiais com movimentos variáveis que são programados para a realização de uma variedade de tarefas”.

Os robôs manipuladores cartesianos (também chamados de robô lineares) é um robô industrial cujos três principais eixos de controle são lineares (eles se movem em uma linha reta ao invés de girar) e se forma um ângulo reto a relação de cada eixo. Há três articulações deslizantes que correspondem ao movimento de cima para baixo, de dentro para fora e da direita para esquerda, o braço possui três juntas prismáticas, cujos eixos são coincidentes com um coordenador cartesiano XYZ. Entre outras vantagens, este arranjo mecânico simplifica a solução de controle do braço robô, trabalham em função de coordenadas X, Y e Z para realizar seus movimentos possuem pequena área de trabalho quando comparados com robôs manipuladores de dimensões semelhantes, o que os diferente é sua geometria. Porém, esses robôs possuem um elevado grau de rigidez mecânica e são capazes de grande exatidão na localização do atuador. O seu controle é simples devido ao movimento linear dos vínculos e devido ao momento de inércia da carga ser fixo por toda a área de atuação (ROSÁRIO 2005).

Esses robôs manipuladores cartesianos são utilizados para transporte e armazenamento de cargas. Um exemplo da aplicação de robô desta classe é em automação de armazéns Segundo Paulo Guilherme (2012). Desde que foram criadas as primeiras fábricas automatizadas, os braços mecânicos usados nas linhas de montagem deixaram de serem simples equipamentos designados para uma única tarefa.

A Figura 1 mostra uma linha de montagem industrial com robôs executando atividades.



**Figura 1 - Robôs na linha de montagem**  
**Fonte: Folha de São Paulo (2012)**

Essas máquinas são capazes de desempenhar múltiplas tarefas com facilidade e muita precisão. Ao mesmo tempo, os robôs são tão velozes que a maioria das fabricas necessita instalar os seus robôs em estruturas de vidro para estabelecer um perímetro de segurança fazendo com que as pessoas não acabem se ferindo por estarem próximas demais dos robôs.

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

O presente trabalho propõe o projeto de um manipulador pneumático com o intuito de incentivar pesquisas e investigações nesta área, tanto no desenvolvimento de projetos quanto para fins educacionais.

### 1.1.1 Delimitação do tema

O tema delimita-se a elaborar um projeto e simular um braço robótico manipulador pneumático, utilizando princípios da pneumática, mecânica e eletrônica, para realizar movimentos programados que satisfaçam as necessidades da planta didática do Laboratório de Automação (LAUT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) do campus Ponta Grossa.

## 1.2 PROBLEMA

A premissa a ser confirmada por esse trabalho é de que o desenvolvimento de um projeto de um braço robótico pneumático utilizando conhecimentos abordados em sala de aula e utilizando equipamentos de baixo custo, comparada com outras tecnologias, trará um estímulo maior em relação à elaboração de novos projetos ou implementação em manipuladores já existentes no laboratório da planta didática do LAUT na UTFPR - Ponta Grossa?

## 1.3 HIPÒTESE

Com a elaboração desse projeto acredita-se que os alunos terão uma visão mais próxima de como é a realidade nas indústrias, permitindo que os mesmos possam interagir de forma didática com *softwares* utilizados em ambiente fabril.

## 1.4 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do presente trabalho.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Projetar um braço manipulador e uma interface gráfica para atuar no processo da planta didática do LAUT da UTFPR – Ponta Grossa.

### 1.4.2 Objetivo Específico

- Utilizar a programação em *Ladder* para controlar o manipulador;
- Configurar o Controlador Lógico Programável (CLP), para comunicar-se com o supervisório e controlar um motor de passo;
- Estudar os componentes que vão constituir a robótica;

- Realizar simulações do robô para avaliação do sistema;
- Criar um supervisor para supervisionar o manipulador;
- Utilizar os sensores magnéticos para informar o posicionamento dos êmbolos dos pistões e o posicionamento do robô;

## 1.5 JUSTIFICATIVA

O trabalho apresentado visa à elaboração de um projeto de um robô manipulador pneumático, para ser utilizado na UTFPR – Campus Ponta Grossa de maneira didática a fim de estimular a pesquisa e desenvolvimento em robótica ou outras áreas. O manipulador destina-se a ser estudado e até mesmo implementado no LAUT, fazendo interface entre as plantas de estampagem, CNC (*Computer Numeric Control*), teste e transporte.

A proposta apresentada também tem o intuito de concretizar uma solução em robótica de baixo custo, pois serão utilizados materiais existentes no laboratório de automação e pneumática, visando garantir uma disponibilidade didática para fins educacionais dentro ou fora da instituição.

Se implementado, o projeto poderá ser utilizado nas aulas de pneumática no Laboratório de Hidráulica e Pneumática (LAHP), no LAUT, exposições em feiras e entre outros.

## 1.6 MÉTODO DA PESQUISA

O projeto foi realizado utilizando-se a metodologia de pesquisa tipo exploratória, como objeto de estudo experimental. Os dados e informações foram obtidos através de manuais, livros, *internet*, *datasheet* e entrevista com pessoas envolvidas nesta pesquisa. Para a realização do sistema serão realizado os seguintes passos:

- Estudo dos componentes do robô;
- Estudo do melhor algoritmo de programação;
- Breve opinião dos usuários sobre *softwares*;

- Síntese da documentação dos conceitos e procedimentos envolvidos (trabalho).

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este documento está organizado em 4 Capítulos. O Capítulo 1 apresenta os objetivos gerais do trabalho. O Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico sobre Robôs. O Capítulo 3 apresenta os passos para o desenvolvimento do sistema. E por fim, o Capítulo 4 relata as conclusões obtidas e trabalhos futuros.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No período que antecede a revolução industrial, os trabalhos de movimentação de cargas eram realizados de forma braçal ou se utilizava também de ferramentas manuais. Na produção artesanal, todas as etapas de produção são realizadas na maioria das vezes por uma única pessoa. O artesão até poderia ter auxiliares, mas ele conhecia todas as etapas para a confecção do produto, era dono das ferramentas e tinha acesso às matérias primas necessárias, ou seja, ele detinha os meios necessários e o conhecimento em relação a todas as etapas de produção. Além disso, antes das transformações introduzidas pela Revolução Industrial, era o artesão quem decidia quantas horas trabalharia por dia, isto é, era ele quem controlava o tempo e a intensidade do trabalho. A Figura 2 mostra como era uma linha de montagem manual de produtos antes da revolução industrial.



**Figura 2 - Trabalhos manuais na linha de montagem**  
Fonte: Educacional (2014)

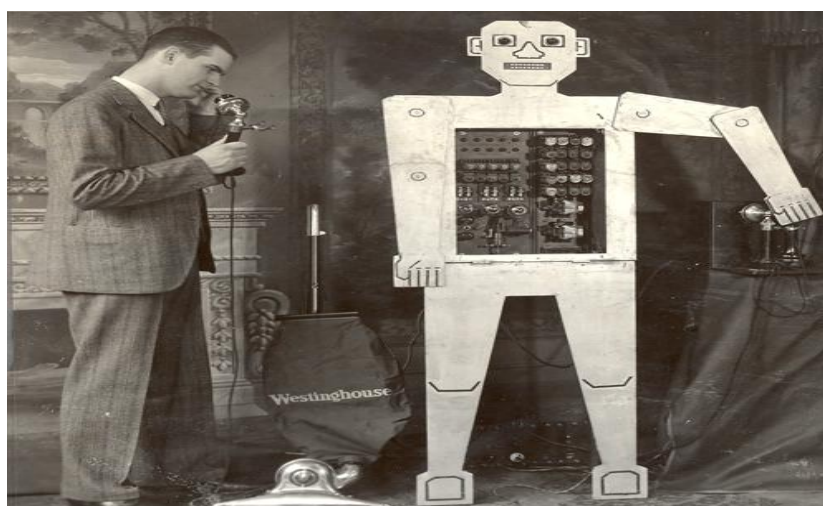
Contudo, essa situação se alteraria no decorrer da Revolução Industrial, onde os capitalistas e industriais fariam uso de um sistema de produção que já

estava sendo utilizado e que é característica da transição do feudalismo para o capitalismo a manufatura.

A Revolução Industrial significou um grande avanço no processo de produção de bens. O trabalho exclusivamente manual foi substituído pelo uso de máquinas, resultando na produção de maior quantidade de produtos em tempo menor. Além das máquinas, a manufatura passou a caracterizar-se pelo utilização do trabalho em série e especializado.

Algumas máquinas mecânicas eram movimentadas, com a ajuda de força animal para girar engrenagens, este tipo de trabalho era demorado. Para melhorar a produtividade as indústrias foram em busca de novas alternativas para garantir a qualidade dos seus produtos. Assim, houve o surgimento de novas máquinas mais robustas para realizar o serviço que era realizado manualmente.

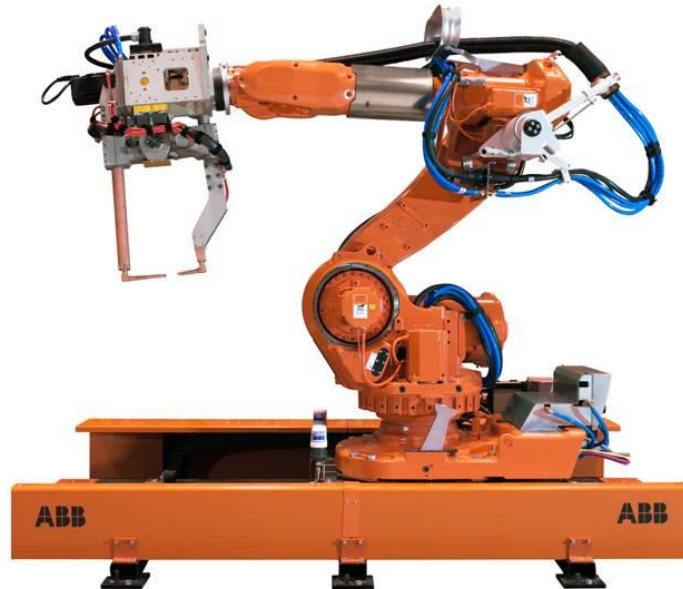
A produção em larga escala foi uma das causas do desenvolvimento de novas tecnologias, novos processos e de métodos de trabalho. Para atender todas essas necessidades do mercado, uma das alternativas foi a utilização dos primeiros robôs, que visava uma maior agilidade e trabalho contínuo. A Figura 3 mostra o primeiro robô utilizado na indústria. Este era do tipo mecânico desenvolvido por Roy J. Wesley, Engenheiro Eletricista da WestingHouse. Marcelo Ayres (2007).



**Figura 3: Robô desenvolvido por Roy J. Wesley**  
**Fonte: The times - 2010**

Duas décadas depois do surgimento do primeiro robô criado por Roy J. Wesley começaram a surgir os primeiros robôs eletrônicos. A Figura 4 mostra um

robô fabricado pela empresa ABB. Esse robô é um dos mais sofisticados para realizar trabalhos em fabricas.



**Figura 4: Robô Eletrônico**  
**Fonte: ABB – (2011)**

## 2.1 COMPONENTES DE UM ROBO

O projeto de um robô, necessita passar por um dimensionamento dos componentes, o qual é necessário identificar quais os componentes que ele deve possuir. Os mais básicos são: sensores, atuadores, manipuladores, engrenagens e os componentes elétricos. Cada um terá seu princípio descrito abaixo.

### 2.1.1 Sensores

Sensores conforme PAZOS (2002) são dispositivos que transmitem um sinal elétrico proporcional a uma grandeza física mensurada. Outra forma de defini-los são dispositivos que mudam seu comportamento quando sofrem a ação de sua grandeza física, podendo fornecer de maneira direta ou indiretamente proporcional um sinal que indique essa grandeza. Assim os sensores são componentes responsáveis por detectar sinais de torque, rotação, som (microfone), ultrassom, luz,

cor, câmera (captura de imagens para processamento), temperatura, pressão entre outros.

### 2.1.2 Atuadores robóticos

Segundo PAZOS (2002), atuadores são dispositivos que traduzem um determinado tipo de energia em algum outro tipo de energia diferente. Nesse sentido, também são transdutores, como os sensores. Entretanto, ao contrário deles, os atuadores convertem a energia de modo a modificar uma grandeza física sobre o ambiente, e não obter informações sobre ela.

Alguns exemplos de atuadores podem ser motores de diversos tipos, como mecânicos, elétricos, hidráulicos ou pneumáticos; servem para mover o robô e seus manipuladores.

### 2.1.3 Manipuladores

Os manipuladores são membros como braços e garras. A variedade de movimentos que um manipulador pode realizar é medida em graus de liberdade. Normalmente manipuladores possuem um ou mais atuadores em sua estrutura. Os manipuladores podem ser classificados como:

- Manipuladores Elétricos - Equipamento desenvolvido para manipular ergonomicamente cargas com facilidade e simplicidade. É ideal para trabalhar em conjunto com sistemas de pórticos giratórios e ponte rolante.
- Manipuladores Hidráulicos – São Equipamentos desenvolvidos para manipular peças ou equipamentos pesados, facilitando o trabalho dos operadores.
- Manipuladores Pneumáticos - São equipamentos concebidos e destinados para manipulação de qualquer tipo de produto que necessite ficar parado a uma altura determinada, permitindo ao operador flexibilidade para realizar outras tarefas enquanto o produto estiver levantado. Podem ser de operação convencional ou do tipo “gravidade zero”.

#### 2.1.4 Engrenagens

As engrenagens são elementos mecânicos compostos de rodas dentadas. Quando duas engrenagens estão em contato, chamamos a engrenagem que fornece a força e rotação para a outra de engrenagem motora, e a outra é dita engrenagem movida. Quando desejamos aumentar a força transmitida pelas engrenagens, a engrenagem motora deve ser a menor. Quando desejamos aumentar a velocidade transmitida, a engrenagem motora deve ser maior que a movida. As engrenagens podem ser acopladas a um eixo.

#### 2.1.5 Elementos elétricos

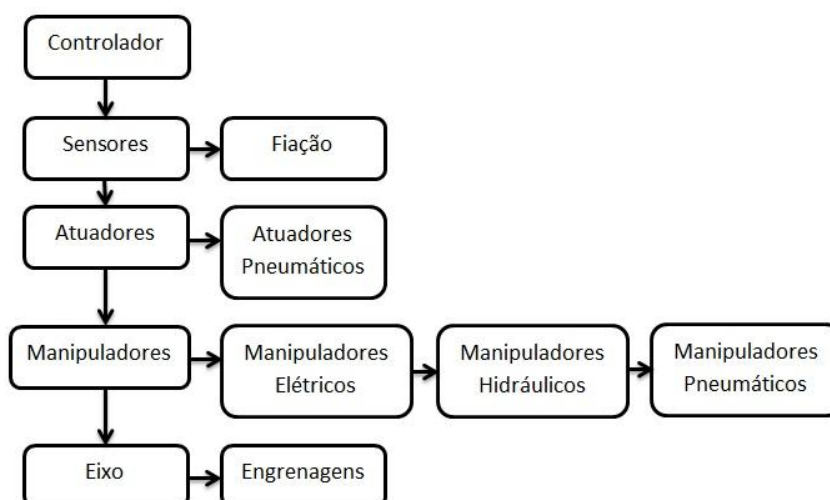
É preciso definir a forma de energia com que os elementos elétricos, eletrônicos vão trabalhar, como o controlador, a parte central de um robô, que possui um microprocessador e memória onde fica o seu(s) programa(s) para a execução. Sua alimentação ser fornecida por uma bateria ou um gerador.

Para que o projeto do manipulador pneumático funcione perfeitamente outros sistemas devem ser dimensionados como a fiação que vai transmitir os sinais entre o controlador e os sensores, atuadores e também transmitir a alimentação para esses componentes.

Outros elementos elétricos de grande importância são os motores de passo que são dispositivos que transformam a energia elétrica em energia mecânica. Estes produzem uma saída em forma de incrementos angulares, controlados por pulsos elétricos do sinal de alimentação. Cada pulso corresponde a um ângulo de rotação, o que o torna preciso e recomendado para aplicações que necessitem de ajustes precisos de posição, mas que não necessitem de um grande torque. (BRITES 2008)

Além dos elementos mencionados é necessária uma estrutura chamada de carcaça do robô, que é formada por um conjunto de peças de tamanho e formatos variados, e em alguns casos rodas, parafusos, e placas. Serve como base para sustentar o controlador, sensores, atuadores, manipuladores, baterias, geradores, fiação, eixos e engrenagens.

A Figura 5 mostra partes dos componentes elétricos e eletrônicos dos robôs.



**Figura 5: Diagrama das partes do robô**  
**Fonte: Autoria Própria**

## 2.2 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

O Controlador Lógico Programável ou PLC (*Programmable Logic Controller*) pode ser definido como um computador industrial capaz de controlar variáveis através de suas entradas e saídas digitais e analógicas, podendo armazenar e realizar instruções com funções de controle (PID, temporização, contagem) e além de realizar operações lógicas e aritméticas. Os sistemas de controle são utilizados nas mais diversas áreas da indústria, se tornando essenciais em áreas da indústria, se tornando essenciais em qualquer campo da engenharia e da ciência. Exemplos de sua utilização estão em sistemas robóticos, veículos espaciais e em operações industriais que envolvam o controle de temperatura, vazão, pressão entre outros (OGATA, 2010).

A técnica de controle PID consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir das informações do valor desejado e do valor atual do processo. Este valor de atuação sobre o processo é transformado em um sinal adequado ao utilizado (válvula, motor, relé), e deve garantir um controle estável e preciso.

O controlador é um dispositivo físico, podendo ser: eletrônico, elétrico, mecânico, pneumático, hidráulico ou combinações destes. No projeto real de um sistema de controle, o projetista deverá decidir pela utilização de um ou mais controladores. Esta escolha depende de vários fatores. O tipo de controlador mais comumente usado, mesmo em plantas das mais diversas naturezas, é o controlador

eletrônico. De fato, os sinais não elétricos são, normalmente, transformados em sinais elétricos, através de transdutores, e, devido a simplicidade de transmissão, aumento da performance, aumento da confiabilidade e principalmente, facilidade de compensação. Geralmente controladores eletrônicos são circuitos simples, formados basicamente por amplificadores operacionais, sendo assim de fácil implementação prática e baixos custos (OGATA, 1993).

O CLP foi criado na industrial automobilística pela *Hydronic Division* da GM (General Motors) no ano de 1968. Anteriormente a lógica de cada linha de produção era feita através de painéis de controle por relés eletromecânicos. Devido a dificuldade da reprogramação dos comandos elétricos, onde era necessário alterar todas as ligações dos componentes, surgiu a ideia de criar um equipamento baseado no computador que controlasse as diversas linhas de produção, alterando somente a programação no computador. Nos anos 80, o CLP se tornou um dos equipamentos mais atraentes na Automação Industrial, devido os seus aperfeiçoamentos e a possibilidade de comunicação em redes industriais como *Ethernet*, *Divicenet*, *Controlnet*, *Profibus*, *Modbus* o que é indispensável na indústria.

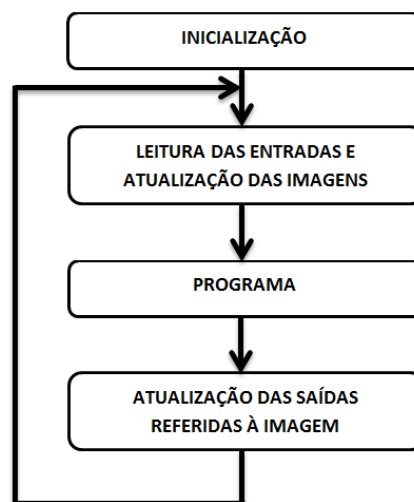
Segundo a ABNT, o Controlador Lógico Programável é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais e residenciais. A norma NEMA define o CLP, como sendo um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos. Na Figura 6 mostra um CLP modelo S7-300 fabricado pela empresa Siemens.

Os programas de um CLP são sempre executados de forma cíclica (*loop*), reiniciando-se automaticamente a execução a partir da primeira linha de programa. A execução completa das linhas que compõem um programa é chamada de ciclo de varredura (*scan cycle*) (NATALE, 2003).



**Figura 6: Design da CPU do CLP S7 300 da Siemens.  
Fonte: SIEMENS (2014).**

O programa do CLP constitui a lógica que avalia a condição dos pontos de entrada e dos estados anteriores do CLP, executando as funções lógicas desejadas e acionando as saídas. A Figura 7 mostra como é o processo do ciclo de um CLP.



**Figura 7: Ciclo de processamento do CLP  
Fonte: Adaptado de SILVA FILHO (2008).**

Ao iniciar o processo, o controlador identifica os sinais que recebe dos cartões de entradas analógicas e digitais, e faz a comparação com o que está escrito no programa. Quando as condições dos sensores satisfazem as condições do programa, o controlador atualiza os sinais nos cartões de saídas analógicas ou digitais. Depois de atualizadas as saídas, dá-se condição para os atuadores realizarem suas funções, que é atuar os cilindros pneumáticos, dando condição para os cilindros se movimentarem. Após isso, o controlador fica no aguardo de um *feedback* da posição do cilindro para dar continuidade da execução do programa.



### 2.2.1 Vantagens e Desvantagens de um CLP

As vantagens associadas ao uso de CLPs quando comparado com os painéis eletromecânicos são:

- Ocupam menor espaço;
- Requerem menor potência elétrica;
- Podem ser reutilizados;
- São programáveis, permitindo alterar os parâmetros de controle;
- Apresentam maior confiabilidade;
- Podem executar controle de vários processos ao mesmo tempo, como no caso deste trabalho, o CLP pode executar rotinas do robô quanto da planta didática.

As desvantagens de um CLP são:

- Custo Inicial;
- Necessidade de um técnico programador;
- Manutenção.

### 2.2.2 Arquitetura do CLP

O CLP é constituído por um sistema similar a um microprocessador, onde os elementos que formam a inteligência do sistema são o processador e o sistema de memória, além dos circuitos auxiliares de controle.

#### 2.2.2.1 Processador do CLP

A função do processador é controlar todo o sistema, através dos barramentos de endereços, de dados e de controle, tendo como característica alta velocidade computacional. Algumas CPUs possuem processamento paralelo (redundância), ou seja, são compostas por dois ou mais processadores que trabalham juntos para executar o programa de aplicação.

### 2.2.3 CLP Rockwell - SLC 500

O SLC 500 fabricado pela empresa *Allen-Bradley*, é uma pequena família de controladores lógicos programáveis que é composto por cinco modelos: o 5/01, 5/02, 5/03, 5/04 e 5/05 que são modulares com base em chassi dos equipamentos da empresa *Rockwell Automation*. Por conta deste conjunto de controladores, o SLC 500 tem a flexibilidade para controlar simples máquinas ou processos complexos pequenos ou grandes. A Tabela 1 mostra a comparação e características dos controladores SLC 500.

**Tabela 1: Comparação e características dos controladores SLC 500.**

Série do controlador	Palavras da memória de instrução	Máximo de pontos de E/S	Opções de E/S	Portas incorporadas	Recursos adicionais
SLC 5/01	1 K ou 4 K	960	E/S local	DH-485 (não é possível iniciar mensagens)	Conjunto básico de 51 instruções
SLC 5/02	4 K	4096	E/S local, E/S remota	DH-485	Conjunto expandido de instruções, tempos de varredura mais rápidos, diagnóstico extensivo para aplicações mais complexas
SLC 5/03	8 K, 16 K, ou 32 K	4096	E/S local, E/S remota	DH-485, RS-232-C (ASCII ou DF1)	Conecta-se a dispositivos inteligentes externos usando a porta RS-232, sem módulos adicionais
SLC 5/04	16 K, 32 K ou 64 K	4096	E/S local, E/S remota	DH+, RS-232-C (ASCII ou DF1)	Comunicação peer to peer de alta velocidade e conexão direta a controladores PLC-5
SLC 5/05	16 K, 32 K ou 64 K	4096	E/S local, E/S remota	Ethernet (10BASE-T 10/100 Mbps), RS-232-C (ASCII ou DF1)	A Ethernet suporta carregamento e download de programas, edição on-line e transmissão de mensagens peer-to-peer

Fonte: Rockwell Automation (2014)

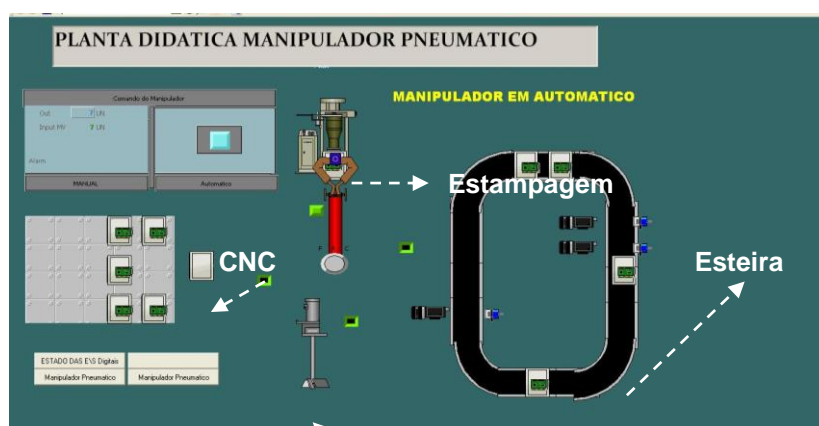


### 2.3 LAYOUT DO LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO.

O laboratório de automação industrial da UTFPR Câmpus Ponta Grossa é um local para colocar em prática algumas os conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Este laboratório possui uma planta didática com alguns equipamentos utilizados na indústria como exemplo CLPs, sensores, atuadores e uma esteira acoplada a uma planta didática. A Figura 9 mostra a planta didática montada no LAUT enquanto que na Figura 10 é apresentado um esquema do *layout* do laboratório.



**Figura 9: Planta didática do laboratório de automação da UTFPR - Câmpus Ponta Grossa.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 10: Esquema da Planta didática.**  
Fonte: Autoria própria.

A planta de automação do LAUT está subdividida em seis outras plantas, CNC, estampagem, verificação de altura, esteira transportadora, manipulador a vácuo e teste de furação, sendo que o manipulador proposto pelo trabalho só tem interação com os quatros processos.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Este capítulo apresenta a metodologia usada no desenvolvimento do robô manipulador pneumática. Dessa maneira, as seções a seguir fazem uma breve descrição do funcionamento do robô, comentam sobre a configuração do CLP usado para o desenvolvimento do sistema, apresentam o *software* desenvolvido e por fim mostra a interface gráfica do sistema.

#### 3.1 FUNCIONAMENTO DO ROBÔ

A partir do estudo efetuado sobre as tecnologias existentes, foram definidas as ferramentas para o desenvolvimento do trabalho. A fim de executar o processo de automação robótica da planta de manufatura do LAUT foi utilizado o CLP SLC-500 da Rockwell, para realizar a programação, compilação e gravação do programa no controlador.

O manipulador pneumático utilizado tem como objetivo interagir com os processos que contemplam a planta didática interligando um processo ao outro.

Para iniciar o manipulador, a peça a ser realizada no processo de CNC deverá estar concluída. Depois de concluída a peça, é necessário pressionar o botão liga para começar a executar a sequência programada, porém o início do processo se dará quando as condições dos sensores abaixo forem verdadeiras:

- Posicionamento CNC.
- Cilindro vertical (C1) estiver recuado.
- Cilindro Horizontal (C2) estiver recuado.
- Garra estiver avançada.

Após essas condições estarem satisfeitas, o robô manipulador pegará a caixa no CNC e levará para o processo de estampagem, no qual só vai soltar a caixa se as condições dos sensores abaixo forem verdadeiras.

- Posicionamento Estampagem.
- Garra fechada.
- C2 Avançado.
- C1 Avançado.

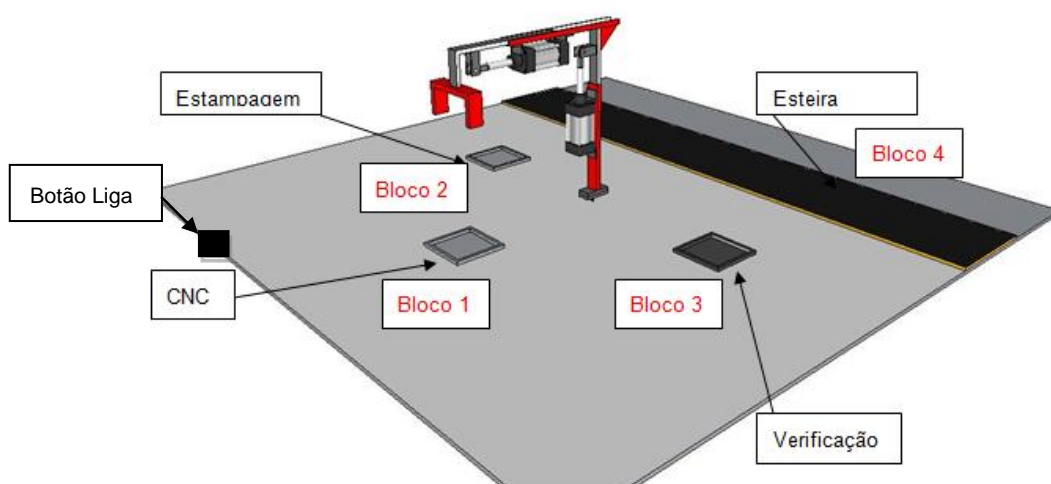
- Sem presença de caixa.

O robô manipulador somente soltará a caixa na estampagem se o sensor de presença de caixa estiver indicando que não há presença de nenhum objeto no local.

Assim que o processo de estampagem estiver concluído, o robô manipulador levará a caixa para o processo de verificação. Nessa etapa outro sistema fará a análise de qualidade da furação de cada caixa. Com todas as etapas realizadas, o manipulador levará a caixa para a esteira transportadora, concluindo assim a sequência programada do manipulador.

### 3.2 CONFIGURAÇÃO DO CLP

A lógica do programa foi criada para trabalhar seguindo a lógica da planta mostrada na Figura 11 onde o bloco 1 corresponde a fresa CNC, bloco 2 corresponde a estampagem, o bloco 3 a verificação da furação da caixa e identificação do material, e por fim o bloco 4 que corresponde a esteira transportadora.



**Figura 11: Layout esquemático do robô manipulador.**  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.3 SOFTWARE DESENVOLVIDO

O programa criado para controlar o manipulador pneumático da planta didática, foi realizado utilizando a linguagem *Ladder*. Uma forma simplificada de

mostrar a sequencia que o manipulador deverá realizar está apresentada na Figura 12.

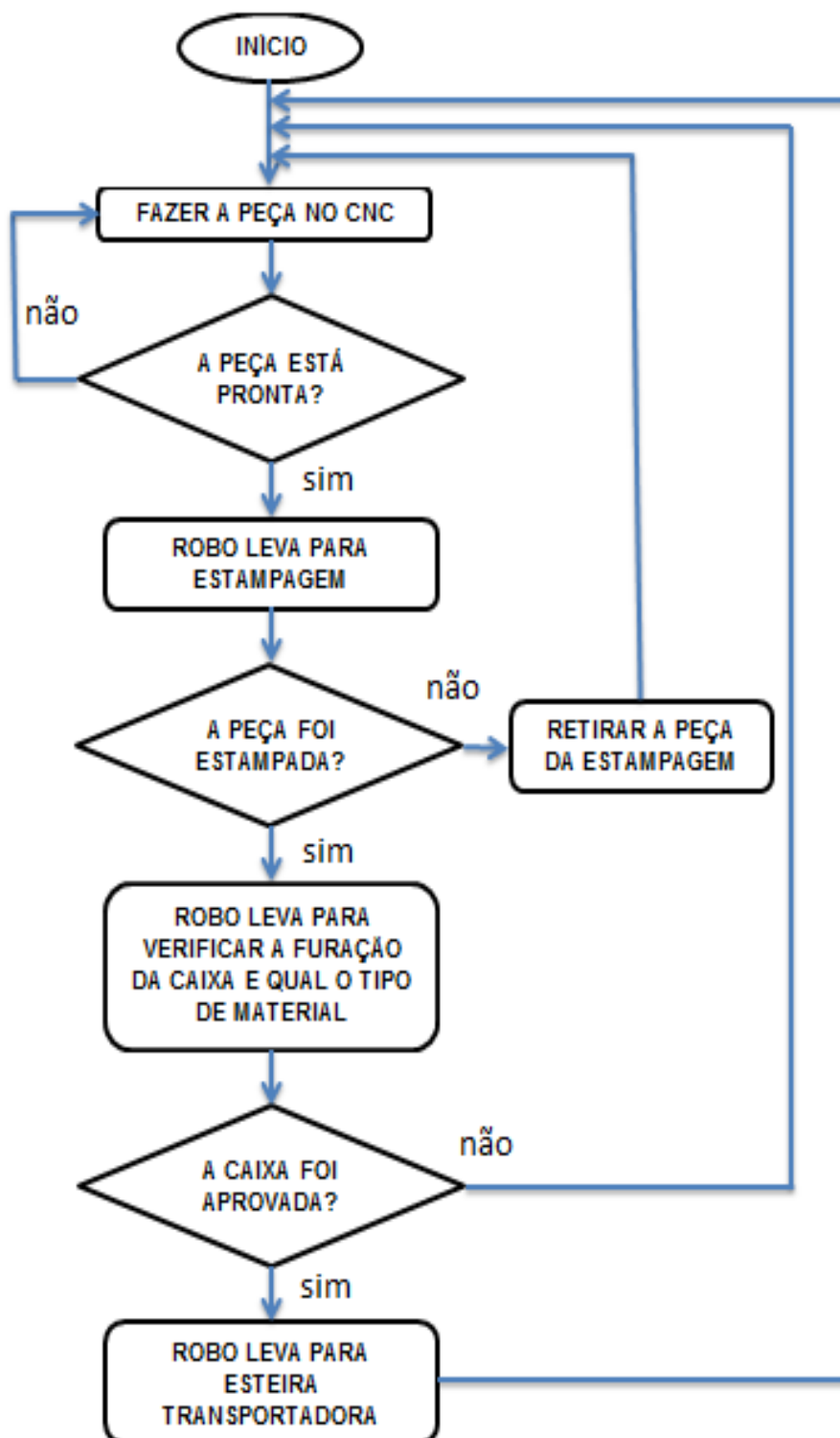


Figura 12: Fluxograma do Processo  
Fonte: Autoria Própria

Na Tabela 2 apresenta cada entrada e saída analógica e digital utilizada no controlador para realizar as sequencia programada.

**Tabela 2 : Entrada e saída analógica e digital utilizada no controlador.**

<b>Entrada digital 1</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dispositivo Conectado</b>	<b>Função</b>
1	DI1 Ch0	Botão de Segurança	Interrompe qualquer etapa do processo para a segurança.
2	DI1 Ch1	Sensor Magnético do cilindro vertical	Entrada Digital para indicação da posição do embolo do cilindro pneumático vertical recuado.
3	DI1 Ch2	Sensor Magnético do cilindro vertical	Entrada Digital para indicação da posição do embolo do cilindro pneumático vertical avançado.
4	DI1 Ch3	Sensor Magnético do cilindro horizontal	Entrada Digital para indicação da posição do embolo do cilindro pneumático horizontal recuado.
5	DI1 Ch 4	Sensor Magnético do cilindro horizontal	Entrada Digital para indicação da posição do embolo do cilindro pneumático horizontal avançado.
6	DI1 Ch 5	Sensor Magnético da garra	Entrada digital para indicar a posição da garra aberta.
7	DI1 Ch 6	Sensor Magnético da garra	Entrada digital para indicar a posição da garra fechada.
8	DI1 Ch 7	Sensor de posição 1	Indicar o posicionamento do robô no CNC.
9	DI1 Ch 8	Sensor de posição 2	Indicar posicionamento do robô na estampagem.
10	DI1 Ch 9	Sensor de posição 3	Entrada Digital para indicar posicionamento do robô no teste do material.
11	DI1 Ch10	Sensor de posição 4	Entrada Digital para indicar posicionamento do robô no na esteira.
12	DI1 Ch11	Botão para Ligar	Entrada Digital para iniciar o processo.
13	DI1 Ch12	Sensor de Verificação	Entrada Digital para verificar a presença de caixa na estampagem.
<b>Saída Digital 1</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dispositivo Conectado</b>	<b>Função</b>
1	DO Ch0	Válvula de acionamento	Saída Digital para avançar cilindro pneumático horizontal.
2	DO Ch0	Válvula de acionamento	Saída Digital para recuar cilindro pneumático horizontal (retorno por mola).
3	DO Ch1	Válvula de acionamento	Saída Digital para avançar cilindro pneumático vertical.
4	DO Ch1	Válvula de acionamento	Saída Digital para recuar cilindro pneumático vertical (retorno por mola).
5	DO Ch2	Válvula de acionamento	Saída Digital para avançar cilindro pneumático da garra.
6	DO Ch2	Válvula de acionamento	Saída Digital para recuar cilindro pneumático da garra (retorno por mola).
7	DO Ch3	Aciona Motor	Saída Digital para ligar motor

**Fonte: Autoria Própria**



### 3.3.1 Comunicação do CLP com a Interface gráfica

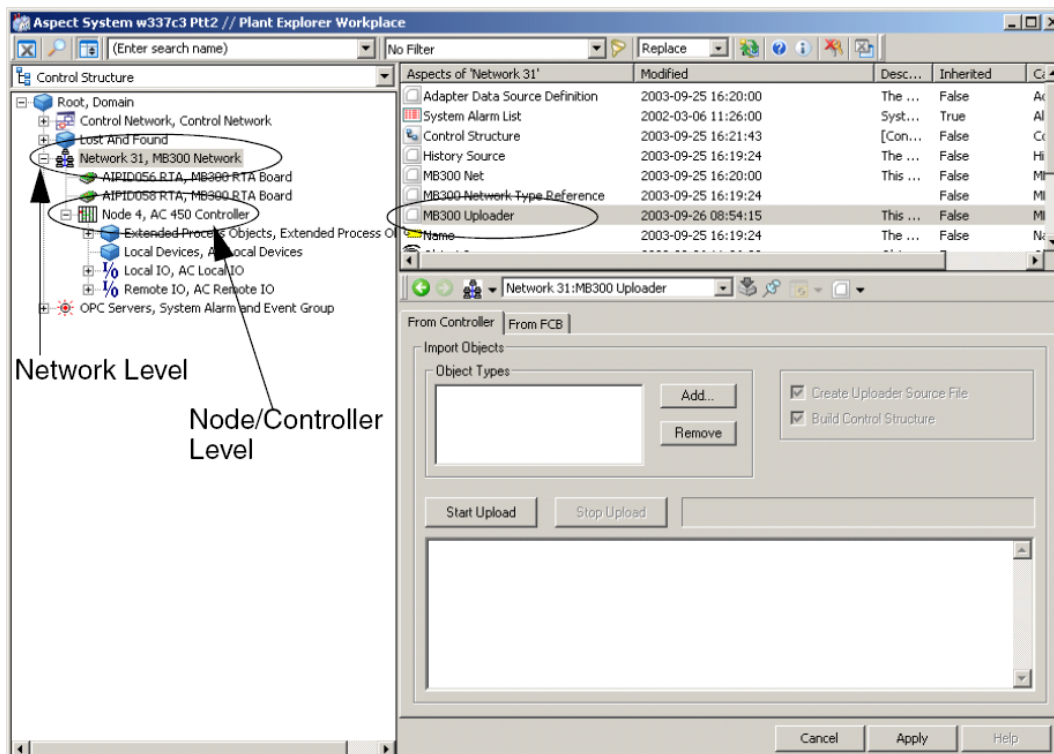
Para a comunicação entre o CLP e supervisor foi utilizado o servidor OPC (*Process Control*) baseado nas tecnologias Microsoft OLE COM (*Component Object Model*) e DCOM (*Distributed Component Object Model*). O OPC é um conjunto comum de interfaces, métodos e propriedades de comunicação, agregados dentro de uma especificação padronizada e aberta para acesso público. Qualquer pessoa com conhecimentos de programação pode desenvolver seus aplicativos OPC, basta acessar as especificações contidas na *web site* da *OPC Foundation* e desenvolver uma interface compatível.

O funcionamento do OPC é simples, uma aplicação cliente (como um *software* de supervisão) solicita um dado ao servidor OPC, que lhe atende e retorna com o dado solicitado.

É importante ressaltar que o OPC não elimina o protocolo proprietário nativo do CLP ou equipamento de campo. O que acontece é que o servidor OPC converte este protocolo proprietário para o padrão OPC. Portanto é necessário o desenvolvimento de um servidor OPC específico para cada um dos diferentes protocolos de comunicação existentes.

## 3.4 INTERFACE DO SISTEMA 800XA

O *Software* 800xA Industrial IT da ABB, é um sistema estendido de automação que possibilita a interação de forma gráfica das variáveis de campo do processo de uma planta com a operação, permitindo a integração e conectividade aos sistemas industriais e empresariais. O sistema apresenta em tempo real todas as variáveis de um processo. Essa arquitetura permite com um clique, a navegação e a apresentação da informação correta em um contexto certo para um usuário definido. Na Figura 13 está representada a interface do sistema 800xA.



**Figura 13:Interface do sistema 800xA**  
**Fonte: Autoria Própria**

Com o sistema 800xA pode-se obter todas as informações de um equipamento em um único local, permitindo total controle e supervisão do equipamento. A Figura 14 mostra como é feita a interação do sistema proposto.



**Figura 14: Interface do sistema proposto**  
**Fonte: Autoria Própria**

O *faceplate* é uma tela gráfica onde é possível verificar os dados referentes a variável medida (MV) e também é possível monitorar o *setpoint* (SP), a saída (OUT), e os valores relacionados do controle PID de um controle de nível, além de apresentar os limites de alarmes e *interlocks* conforme mostra na Figura 15.



Figura 15: Tela gráfica do *faceplate*.  
Fonte: Autoria Própria

## 4 CONCLUSÃO

Com as simulações realizadas, torna-se possível afirmar que o projeto do manipulador pneumático é de grande importância para o aprendizado dos alunos, tornando-se possível uma melhoria nas aulas práticas.

Para implementar o projeto no LAUT, o custo é reduzido, pois os equipamentos e ferramentas para a execução do manipulador podem ser utilizados do próprio laboratório de pneumática e hidráulica.

A utilização do PLC permite a integração da planta didática com o manipulador, não havendo necessidade de rotinas de comunicação com outros periféricos, e centralizando o processo em um só controlador.

Também há possibilidade dos alunos adquirirem um maior conhecimento em sistemas supervisionados e nos controladores, utilizando uma máquina virtual que emula o *software* de programação do controlador e do supervisório.

Por fim sugere-se que o projeto possa ser elaborado como trabalho da disciplina de automação e controle discreto ou pneumático e o simulador nas disciplinas de Controle de Processos, Instrumentação virtual, Robótica, Supervisão e Redes Industriais, Controle Eletrônico de Máquinas, Linguagem de Programação e Controladores Lógicos Programáveis.

### 4.1 TRABALHOS FUTUROS

Algumas melhorias futuras podem ser adaptadas no atual projeto, tais como:

- A utilização de um micro controlador para fazer o controle do processo, reduzindo assim o espaço físico utilizado pelo CLP.
- A utilização de um controlador CNC para eliminar os sensores dos cilindros e os de posicionamento, tornando os movimentos mais precisos.
- A implementação do projeto proposto, permitindo uma melhor visualização das etapas do processo.

- A implementação do supervisório para todos os processos da planta, CNC, estampagem, verificação de qualidade, esteira transportadora, controle de qualidade.

## REFERÊNCIAS

GROOVER, Mikell P. *et al.* Tradução David Maurice Savatovsky. **Robótica, Tecnologia e Programação**. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1989.

HEINEN, Farlei José. **O que é um robô?** Grupo de robótica inteligente. Disponível em: <<http://ncg.unisinos.br/robotica/>>. Acesso em 12 de dez. 2013.

OGATA, Katsuhiko. **Modern Control Engineering**. Prentice Hall, 1990.

PAZOS, Fernando. **Automação de sistemas & Robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.

BRITES, F. G. : SANTOS, V. P. de A. *Motor de Passo*. [S.l.], julho (2008)

PASSOS, Eduardo Rocha. **Simulação de Estratégias para um Veículo Robótico Autônomo para Patrulhamento**. Itajaí , 2008. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação)- Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Val do Itajaí, Itajaí, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos**. 1ª edição. São Paulo, SP, Editora Érica. 2008.

Lee engenharia. Pdf – Curso clp. Disponível em: <http://www.lee.eng.uerj.br/downloads/cursos/clp/clp.pdf>> Acesso em 29 de julho de 2014.

Anzo. Pdf – clp parte 3. Disponível em: <http://www.anzo.com.br/downloads/12072009-CLP-PARTE-3.pdf>> Acesso em 29 de julho de 2014.

MARKOFF, J. Tecnologias renovam aposta na robótica. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 27 ago. 2012. Caderno mercado, p. 4.

MECALUX, Transelevadores, Catalogo versão 2011. Disponível em:  
<<http://www.mecalux.com.br/armazens-automaticos/transelevadores>>. Acesso em:  
16 de dezembro de 2014.

OGATA, K. (2010). **Engenharia de Controle Moderno**. 5 ed, Prentice Hall.