

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS DIVINÓPOLIS  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**Automação do processo de rebiteagem em indústrias metalúrgicas de  
pequeno porte**

**Leonardo Vieira Rodrigues da Silveira**



**Divinópolis  
2014**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS DIVINÓPOLIS  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**Automação do processo de rebitagem em indústrias metalúrgicas de  
pequeno porte**

**Leonardo Vieira Rodrigues da Silveira**

Monografia do Trabalho de Conclusão de  
Curso apresentado ao colegiado de  
Graduação em Engenharia Mecatrônica  
como parte dos requisitos exigidos para a  
obtenção do título de Engenheiro  
Mecatrônico

Orientador: Luiz Cláudio Oliveira

**Divinópolis  
2014**

**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**  
**CEFET-MG / *Campus V* – Divinópolis**  
**Curso de Engenharia Mecatrônica**

Monografia intitulada “Automação do processo de rebiteamento em indústrias metalúrgicas de pequeno porte” de autoria do graduando Leonardo Vieira Rodrigues da Silveira, aprovada pela banca formada pelos seguintes professores:

---

Prof. Dr. Luiz Cláudio Oliveira – CEFET/MG - *Campus Divinópolis* – Orientador

---

Prof. Dr. Cícero Lefort Borges – CEFET/MG - *Campus Divinópolis*

---

Prof. Dr. Valter Júnior de Souza Leite – CEFET/MG - *Campus Divinópolis*

---

Prof. Dr. Valter Júnior de Souza Leite  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica  
CEFET/MG - *Campus Divinópolis*

Divinópolis – Fevereiro de 2014

## Agradecimentos

### Agradeço

A Deus, pela oportunidade, e por estar sempre comigo.

Aos meus pais, César e Claudete, pelo amor, apoio, tolerância, e, sobretudo pelos bons exemplos e ensinamentos passados por eles.

Aos meus irmãos, Eduardo e Viviane, pela amizade, e pelos bons momentos que sempre passamos juntos.

Aos meus demais familiares, pelo apoio.

Aos meus amigos e colegas de turma, em especial ao John Adam, ao Mateus Amaral, e a Glaucia, que sempre se mostraram dispostos em me ajudar no que fosse preciso.

Aos professores, por tudo que aprendi através deles, principalmente ao meu orientador Luiz Cláudio, que sempre esteve de prontidão em contribuir com seus conhecimentos para que este trabalho pudesse ser realizado.

SILVEIRA, Leonardo Vieira Rodrigues. **Automação do processo de rebiteamento em indústrias metalúrgicas de pequeno porte**. 2014. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecatrônica. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Campus Divinópolis, 2014

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma pesquisa experimental de engenharia, focada nas áreas de mecânica e elétrica. O objetivo central da pesquisa é o desenvolvimento de um protótipo de um sistema eletropneumático, que consiste em um mecanismo que substitua o esforço humano no processo de rebiteamento de uma linha de produção de uma indústria metalúrgica. Foram estudados os seguintes aspectos: (I) Elaboração de um modelo para o mecanismo de acionamento da rebiteadeira; (II) Projeto de automação do sistema eletropneumático; (III) Projeto pneumático do sistema; (IV) Dimensionamento e montagem da estrutura mecânica do sistema. A coleta dos dados de campo do projeto foi realizada através de cálculos, testes experimentais, e simulações; baseando-se nas bibliografias usadas como referência na pesquisa. Primeiramente elaborou-se um modelo de mecanismo que foi utilizado como referência para a elaboração do projeto de automação. Em seguida, desenvolveu-se o projeto de automação do sistema, traçando os diagramas trajeto-passo, posicionamento dos atuadores, atuação dos sensores e comando dos atuadores. Baseado nestes diagramas tirou-se as equações de acionamento dos atuadores, e com as mesmas obteve-se o circuito elétrico de controle da automação. Com o circuito, programou-se o diagrama *ladder* a ser utilizada no PLC como fonte de comando do sistema automatizado. Posteriormente, fez-se o projeto pneumático do sistema, especificando os cilindros que darão dinâmica ao sistema. Por fim, projetou-se e montou-se a estrutura mecânica que contém todo o sistema automatizado desenvolvido neste trabalho.

**Palavras-chave:** rebiteamento; automação eletropneumática; sistema automatizado; desenvolvimento de protótipo

## ABSTRACT

This work presents an experimental engineering research, focused in the areas of mechanical and electrical. The central objective of the research is the development of a prototype electropneumatic system, which is a mechanism that replaces human effort in riveting process of a production line of a metallurgical industry. The following aspects were studied: (I) develop a model for the mechanism of activation of the rivet gun; (II) design automation electropneumatic system; (III) Pneumatic System design; (IV) Design and assembly of mechanical structure system. The collection of field data for the project was carried out by calculation, experimental tests, and simulations, based on the bibliographies used as a reference in the research. First, elaborated a model mechanism that was used as a reference for the development of the automation project. Then we developed the design automation system, tracing the diagrams path-step placement of actuators, actuation of the sensors and control actuators. Based on these diagrams took the equations drive the actuators, and the same was obtained control circuitry automation. With the circuit is programmed ladder diagram to be used as a source of the PLC control of the automated system. Later, he became the pneumatic system design, specifying the cylinders that will dynamically to the system. Finally, it was designed and assembled to mechanical structure that contains all the automated system developed in this work.

**Keywords:** riveting, electropneumatic automation, automated system, prototype development

# SUMÁRIO

Capítulo 1.....	13
1. Introdução.....	13
1.1. Origem e relevância da pesquisa.....	13
1.2. Objetivos.....	15
1.3. Metodologia.....	15
1.4. Revisão da literatura.....	16
Capítulo 2.....	17
2. Fundamentação teórica.....	17
2.1. Pneumática.....	17
2.2. Eletropneumática e Sistemas Eletropneumáticos.....	17
2.3. Atuadores pneumáticos.....	18
2.3.1. Cilindro de simples ação.....	18
2.3.2. Cilindro de dupla ação.....	19
2.4. Válvulas Eletropneumáticas.....	19
2.4.1. Solenóides.....	20
2.4.2. Válvula Eletropneumática 5/2 vias com acionamento unidirecional.....	20
2.4.3. Válvula Eletropneumática 5/2 vias com acionamento bidirecional.....	21
2.4.4. Válvula Controladora de Fluxo.....	21
2.5. Dispositivos elétricos.....	22
2.5.1. Chave sem retenção ou impulso.....	22
2.5.2. Chave com retenção ou trava.....	22
2.5.3. Relé.....	22
2.5.4. Contator.....	24
2.5.5. Limitadora de fim de curso.....	24
2.6. Controlador Lógico Programável (PLCs).....	25
2.6.1. Blocos que compõe um PLC.....	25
2.6.2. Linguagem de Programação <i>Ladder</i> .....	27
2.7. Rebites e processo de rebitagem.....	28
Capítulo 3.....	30
3. O desenvolvimento.....	30
3.1. Modelo do sistema mecânico.....	30

3.2. Projeto de automação eletropneumática do sistema.....	31
3.3. Programação em <i>Ladder</i> para implementação no PLC.....	37
3.4. Projeto do Sistema Pneumático.....	40
3.5. Projeto da Estrutura Mecânica.....	45
3.5.1. Projeto da caixa.....	45
3.5.2. Projeto dos acoplamentos.....	46
Capítulo 4.....	49
4. Resultados obtidos.....	49
4.1. Resultados do Projeto de Automação.....	49
4.2. Resultados do Projeto Pneumático.....	50
4.3. Resultado da montagem final da Estrutura Mecânica.....	51
4.4. Resultados gerais de trabalho.....	52
Capítulo 5.....	54
5. Considerações finais.....	54
5.1. Conclusão.....	54
5.2. Dificuldades Encontradas.....	55
5.3. Propostas de Continuidade.....	55
6. Referências bibliográficas.....	56



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Rebitadeira convencional.....	14
Figura 1.2 - Rebitadeira pneumática semi-automática.....	14
Figura 2.1 - Diagrama de um Sistema Eletropneumático automatizado.....	18
Figura 2.2 - Cilindro de simples ação com retorno por mola.....	19
Figura 2.3 - Cilindro de simples ação com retorno por força externa.....	19
Figura 2.4 - Cilindro de dupla ação.....	19
Figura 2.5 - Válvula Eletropneumática 5/2 com acionamento unidirecional.....	20
Figura 2.6 - Válvula Eletropneumática 5/2 com acionamento bidirecional.....	21
Figura 2.7 - Chaves com retenção.....	22
Figura 2.8 - Estrutura física do Relé.....	23
Figura 2.9 - Símbolo do Relé.....	23
Figura 2.10 - Representação do Contator.....	24
Figura 2.11 - Aplicação genérica do PLC.....	25
Figura 2.12 - Estrutura básica do PLC.....	26
Figura 2.13 - PLC comercial e seus blocos.....	27
Figura 2.14 - Componentes da programação em linguagem <i>Ladder</i> .....	28
Figura 2.15- Rebites sólidos.....	29
Figura 3.1 - Modelo do mecanismo.....	30
Figura 3.2 - Diagramas trajeto-passo e posicionamento dos atuadores.....	31
Figura 3.3 - Diagrama trajeto-passo e posicionamento dos atuadores com a inclusão do relé .....	32
Figura 3.4 - Diagramas do projeto de automação do sistema.....	34
Figura 3.5 - Circuito elétrico de controle do sistema.....	37
Figura 3.6 - Simulação do Sistema Eletropneumático.....	37
Figura 3.7 - <i>Rung</i> referente ao primeiro ramo do circuito de controle.....	38
Figura 3.8 - Diagrama <i>Ladder</i> referente ao circuito de controle do sistema.....	39
Figura 3.9 – PLC RS 232 da FESTO.....	40
Figura 3.10 - Diagrama de forças dos cilindros B e C.....	43
Figura 3.11 - Cilindro A.....	44
Figura 3.12 - Cilindro B .....	44
Figura 3.13 - Cilindro C.....	44

Figura 3.14 - Desenho da Caixa.....	46
Figura 3.15 - Cilindro A acoplado à caixa.....	47
Figura 3.16 - Estrutura mecânica do projeto.....	48
Figura 4.1 - Montagem do Sistema Eletropneumático no painel didático.....	50
Figura 4.2 – Estrutura Mecânica do Projeto.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Resultados obtidos no sistema pneumático.....	50
--	----

## LISTA DE ACRÔNIMOS E NOTAÇÕES

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento)
NA	Normalmente aberto
NF	Normalmente fechado
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programável)
$A^+$	Indica comando para avançar, ou manter avançado, o cilindro A
$A^-$	Indica comando para recuar, ou manter recuado, o cilindro A
$a_0$	Indica sensor de início de curso do cilindro A acionado
$a_1$	Indica sensor de fim de curso do cilindro A acionado
$B^+$	Indica comando para avançar, ou manter avançado, o cilindro B
$B^-$	Indica comando para recuar, ou manter recuado, o cilindro B
$b_0$	Indica sensor de início de curso do cilindro B acionado
$b_1$	Indica sensor de fim de curso do cilindro B acionado
$C^+$	Indica comando para avançar, ou manter avançado, o cilindro C
$C^-$	Indica comando para recuar, ou manter recuado, o cilindro C
$c_0$	Indica sensor de início de curso do cilindro C acionado
$c_1$	Indica sensor de fim de curso do cilindro C acionado
$K^+$	Indica comando de relé acionado
$K^-$	Indica comando de relé desacionado
$KNA$	Indica sensor normalmente aberto do relé acionado
$KNF$	Indica sensor normalmente fechado do relé acionado

# Capítulo 1

## 1. Introdução

Este trabalho de conclusão de curso consiste em um projeto e construção de um mecanismo automatizado, destinado à execução da rebiteagem de peças em uma linha de produção de indústrias metalúrgicas de pequeno porte.

### 1.1. Origem e relevância da pesquisa

Atualmente as pequenas empresas metalúrgicas não possuem em sua linha de produção sistemas automatizados, justificado pelo elevado custo, e falta de profissionais habilitados para operar e dar manutenção nestes equipamentos automáticos. Um dos processos mais comuns nas indústrias metalúrgicas é o de rebiteagem, por exemplo, rebiteagem de cabos de madeira em caçarolas de alumínio fundido. Este tipo de processo, hoje, é feito através de rebiteadeiras convencionais ou semi-automáticas, sendo que ambas necessitam de um acionamento manual, ou seja, necessitam de um esforço humano para executá-las. A Figura 1.1 exemplifica uma rebiteadeira convencional, enquanto que a Figura 1.2 exemplifica uma rebiteadeira pneumática semi-automática.



Figura 1.1- Rebitadeira convencional (Fonte: MERCADO LIVRE. Disponível em: <[http://img2.mlstatic.com/rebitadeira-alicate-rebitador-vertical-profissional-western\\_MLB-O-195566735\\_8562.jpg](http://img2.mlstatic.com/rebitadeira-alicate-rebitador-vertical-profissional-western_MLB-O-195566735_8562.jpg)>. Acesso em 15 jun. 2013)



Figura 1.2- Rebitadeira pneumática semi-automática (FONTE: LOJA FERRAMIX. Disponível em: <[http://loja.ferramix.com.br/ecommerce\\_site/arquivos5283/arquivos/1335800729\\_1.jpg](http://loja.ferramix.com.br/ecommerce_site/arquivos5283/arquivos/1335800729_1.jpg)>. Acesso em 15 jun. 2013)

Estas rebitadeiras encontradas atualmente no mercado possuem uma série de desvantagens, entre as quais podemos citar: baixa produtividade; desperdícios de materiais e mercadoria (que pode se danificar devido ao uso incorreto); e risco de acidentes. Com base nisto, foi proposto neste trabalho de conclusão de curso, o projeto e construção de uma rebitadeira automática, que

possa eliminar, ou pelo menos diminuir, as desvantagens citadas anteriormente.

## **1.2. Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo projetar e construir um protótipo de um sistema eletropneumático, que consiste em um mecanismo que substitua o esforço humano no processo de rebitagem. Esse mecanismo será composto por uma estrutura mecânica móvel, e um sistema elétrico de controle, que juntos, formarão um único arranjo. Espera-se, que este arranjo execute de forma automática, o processo de rebitagem em uma linha de produção de uma indústria metalúrgica de pequeno porte.

## **1.3. Metodologia**

A princípio, é feita uma revisão bibliográfica das principais fontes usadas como referências para este trabalho, tais como livros e sites.

Em seguida, é elaborado um modelo para a estrutura mecânica do sistema automatizado, que servirá de base para o projeto de automação.

Após isso, é feito todo o projeto de automação do sistema, elaborando os diagramas trajeto-passo, posicionamento dos atuadores, diagrama de atuação dos sensores, e diagrama de comando dos atuadores. Com estes diagramas será possível levantar as equações de acionamento dos atuadores, para então projetar o circuito elétrico de controle do sistema. Com base no circuito de controle será feita a programação em *ladder* do projeto de automação para aplicá-lo em um PLC, que comandará as ações do sistema automatizado.

O próximo passo é o projeto do sistema pneumático, que consiste em dimensionar os cilindros de acordo com as forças que estes são responsáveis por aplicar em cada parte do sistema.

Por fim, é feito o projeto e montagem da estrutura mecânica, que contém os cilindros, eixos, e acoplamentos que dão dinâmica ao sistema.

#### **1.4. Revisão da literatura**

O ponto fundamental deste trabalho é a automação eletropneumática de sistemas. Um importante conceito desta área é o de automatismos. Segundo Fialho (2006, p.17), “automatismos são os meios, os instrumentos, máquinas, processos de trabalho, ferramentas ou recursos capazes de potencializar, reduzir, ou até mesmo eliminar a ação humana dentro de um determinado processo produtivo, objetivando com isso, é claro, uma otimização e conseqüente melhoria de produtividade”. Baseando-se nesta definição, torna-se possível dizer que o presente trabalho trata-se de um automatismo, pois se encaixa nas características citadas pelo autor.

Outro importante conceito é o de automação. Fialho (2006, p.17) define automação como a dinâmica organizada dos automatismos, ou seja, suas associações de uma forma otimizada e direcionada à consecução dos objetivos do progresso humano. A partir desta definição dada pelo autor, pode-se perceber que automação não é apenas substituição do homem na produção, mais do que isso, é um meio de aumento de qualidade e produtividade a um custo mais reduzido.

Consultando-se bibliografias da área de projetos de máquinas, como por exemplo NORTON (2004) e SHIGLEY (2005), percebe-se que estas bibliografias enfocam muito pouco o projeto de dispositivos de rebitagem, somente citam um pouco sobre o processo em si, mas não sobre a máquina que o realiza. Desta forma, haverá alguma dificuldade no projeto do mecanismo, pois será necessário buscar outros tipos de referências que tratam do assunto, como artigos e sobretudo sites de fabricantes.



## Capítulo 2

### 2. Fundamentação teórica

Neste capítulo é apresentado um resumo dos principais conceitos que serão utilizados como base no desenvolvimento deste trabalho.

#### 2.1. Pneumática

Pneumática é o ramo da engenharia destinado ao estudo dos gases e suas aplicações.

#### 2.2. Eletropneumática e Sistemas Eletropneumáticos

FIALHO (2006) define eletropneumática como:

“Eletropneumática é o ramo da pneumática que passa a utilizar a energia elétrica CC ou CA como fonte de energia para o acionamento de válvulas direcionais, compondo as assim as chamadas eletroválvulas e válvulas proporcionais, energizando ainda sensores magnéticos de posicionamento, pressostatos, *micro-switchs*, etc.” (2006, p.19).

Um sistema eletropneumático é um conjunto de elementos interligados conforme a Figura 2.1. É composto por elementos de sinal, elementos de trabalho, elementos de comando, e elementos de controle.

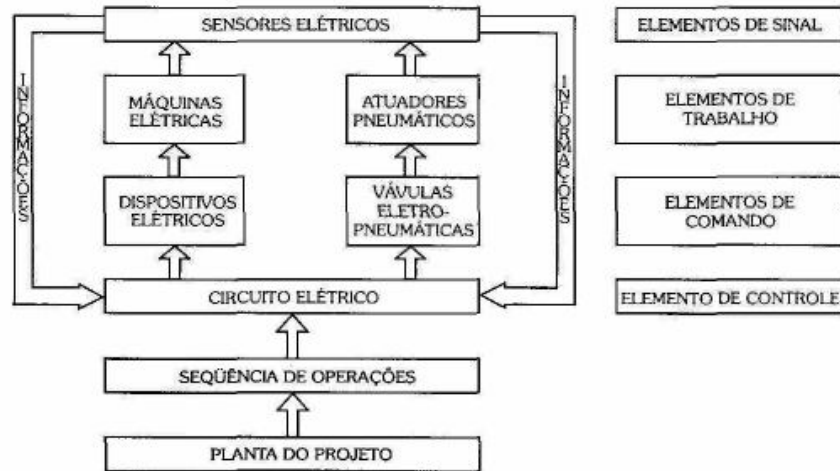


Figura 2.1 - Diagrama de um Sistema Eletropneumático automatizado (FONTE: BONACORSO, 1997, p.3)

### 2.3. Atuadores pneumáticos

“Atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão, em energia mecânica, produzindo trabalho”. (FIALHO, 2006, p.77).

Atuadores pneumáticos de movimentos retilíneos são conhecidos como cilindros. Existem basicamente dois tipos de cilindros, os quais são largamente utilizados nos sistemas pneumáticos: o cilindro de simples ação e o cilindro de dupla ação.

#### 2.3.1. Cilindro de simples ação

“Este tipo de cilindro é acionado pelo ar comprimido apenas de um lado, realizando trabalho em um só sentido. O seu desacionamento é executado mediante a ação de uma força externa ou por uma mola interna”. (BONACORSO, 1997, p.5). As Figuras 2.2 e 2.3 apresentam as simbologias de cilindros de simples ação.

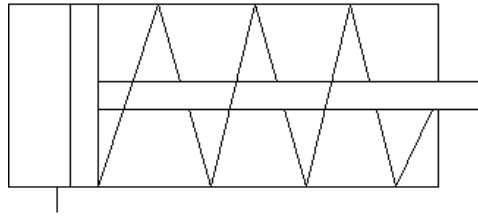


Figura 2.2- Cilindro de simples ação com retorno por mola

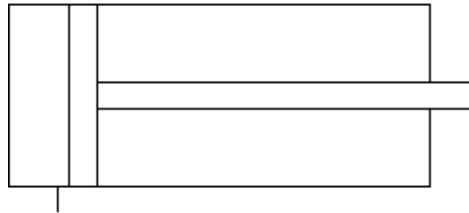


Figura 2.3 - Cilindro de simples ação com retorno por força externa

### 2.3.2. Cilindro de dupla ação

“Neste tipo de cilindro, o ar comprimido produz movimento nos dois sentidos. Teremos avanço e retorno do cilindro através da energia pneumática”. (BONACORSO, 1997, p.6). A Figura 2.4 mostra a simbologia de um cilindro de dupla ação.

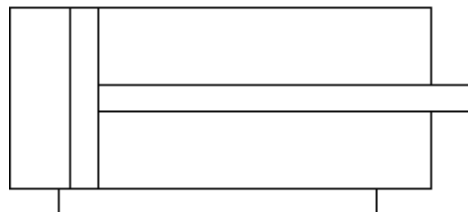


Figura 2.4 - Cilindro de dupla ação

## 2.4. Válvulas Eletropneumáticas

“Válvulas eletropneumáticas são componentes do sistema eletropneumático automatizado que recebem comandos do circuito elétrico de controle, acionando com isso, os elementos de trabalho pneumáticos”. (BONACORSO, 1997, p.13).

### 2.4.1. Solenóides

BONACORSO (1997) explica o acionamento de válvulas por solenóides da seguinte forma:

“O sistema de acionamento das válvulas é representado externamente por meio de solenóides. Podem-se ter válvulas acionadas por um solenóide, conhecidas como válvulas com comando unidirecional e válvulas acionadas por dois solenóides, identificadas como válvulas com comando bidirecional.” (1997, p.14).

Existe uma variedade de tipos de válvulas eletropneumáticas. A seguir, serão apresentadas duas destas válvulas, que são os modelos que serão aplicados posteriormente no presente trabalho.

### 2.4.2. Válvula Eletropneumática de 5 vias e 2 estados (5/2) com acionamento unidirecional

A simbologia para este tipo de válvula pode ser vista na Figura 2.5.

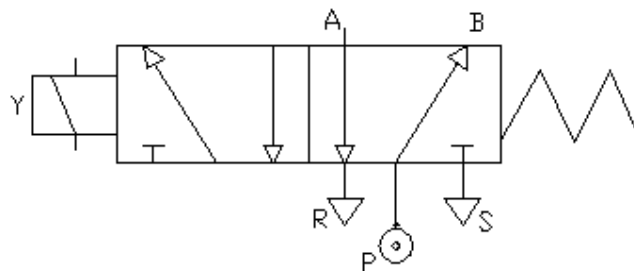


Figura 2.5 - Válvula Eletropneumática 5/2 com acionamento unidirecional

Bonacorso (1997) afirma que na posição de repouso desta válvula, o orifício P é direcionado ao B e a via A é ligada ao escape R, não sendo utilizado o escape S. Bonacorso (1997) diz também que acionando-se o solenóide Y, a válvula troca de estado, ligando o orifício P ao A, a via B é ligada

a S e o escape R não é usado. Enquanto o solenóide estiver acionado, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

#### 2.4.3. Válvula Eletropneumática de 5 vias e 2 estados (5/2) com acionamento bidirecional:

Neste tipo de válvula, mostrada na Figura 2.6, têm-se acionamento por solenóide em ambas as direções, ao contrário da válvula vista anteriormente.

Neste caso, um pulso de corrente no solenóide Y1 faz com que a válvula troque de estado, ligando o orifício P ao A e a via B ao escape S. Após a aplicação do pulso de corrente, a válvula se mantém neste estado até que se aplique um pulso de corrente no solenóide Y2. Este novo pulso (agora em Y2) faz com que a válvula troque novamente de estado, ligando agora o orifício P ao B e a via A ao escape R. A válvula permanecerá neste estado até que seja dado um novo pulso de corrente em Y1.

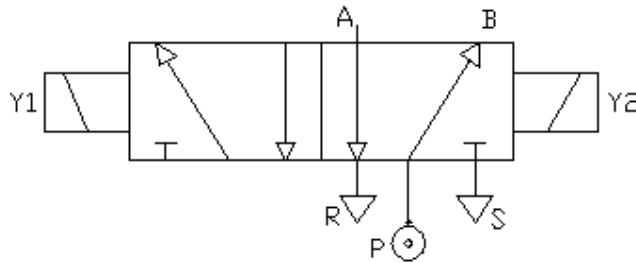


Figura 2.6 - Válvula Eletropneumática 5/2 com acionamento bidirecional

#### 2.4.4. Válvula Controladora de Fluxo

A válvula controladora de fluxo tem como objetivo atenuar a pressão de saída desta válvula. Ela possui uma entrada, que geralmente é a pressão máxima disponível pela fonte, e uma saída, que é a pressão desejada ajustada por uma chave e monitorada por um barômetro integrado nela.

## 2.5. Dispositivos elétricos

### 2.5.1. Chave sem retenção ou impulso

É um dispositivo que só permanece acionado mediante aplicação de uma força externa, ou seja, cessando-se a força, o dispositivo volta a sua posição de origem. Os contatos deste tipo de chave podem ser normalmente abertos (NA), ou normalmente fechados (NF).

### 2.5.2. Chave com retenção ou trava

É um tipo de chave que uma vez acionada, seu retorno à posição original acontece somente através de um novo acionamento.

Os contatos deste tipo de chave também podem ser normalmente abertos (NA), ou normalmente fechados (NF), cujas simbologias podem ser vistas na Figura 2.7.



Figura 2.7 - Chaves com retenção

### 2.5.3. Relé

“O relé nada mais é do que uma chave impulso acionada pelo campo magnético. Este dispositivo é formado basicamente por uma bobina e pelos seus conjuntos de contatos”. (BONACORSO, 1997, p.37).

A Figura 2.8 representa a estrutura física do relé, e a Figura 2.9 mostra a simbologia do relé, juntamente com seus contatos.

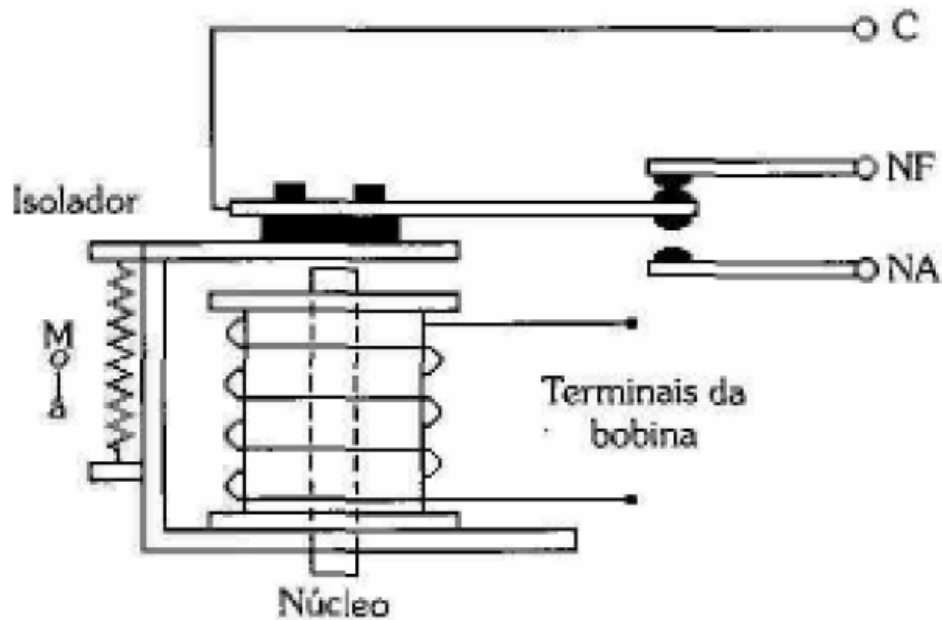


Figura 2.8 - Estrutura física do Relé (FONTE: BONACORSO, 1997, p.37)

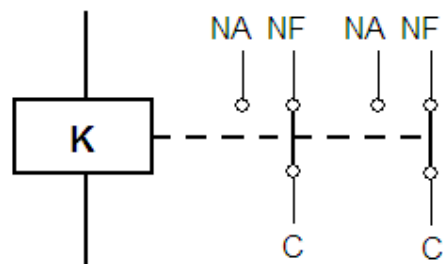


Figura 2.9 - Símbolo do Relé

Bonacorso (1997) explica que se aplicando uma tensão elétrica nos terminais da bobina do relé, surge na mesma uma corrente gerando um campo magnético. A força magnética, por sua vez, atrai a parte móvel do relé, distendendo a mola. Esta manobra faz com que o terminal C, que anteriormente estava em contato com o terminal NF, passe a se fixar com o contato NA. Enquanto a bobina permanecer energizada, os contatos se mantêm nessa posição.

Bonacorso (1997) afirma ainda que ao ser desenergizado, o solenóide cessa a força eletromagnética de atração, resultando no retorno da parte móvel do relé à posição inicial pelo efeito de contração da mola.

#### 2.5.4. Contator

“O contator é uma chave de comutação eletromagnética. Ele é empregado, geralmente, para acionar máquinas e equipamentos elétricos de grande potência”. (BONACORSO, 1997, p.39).

Bonacorso (1997) afirma que o contator, além de possuir os contatos principais, apresenta também contatos auxiliares NA e NF de pequena capacidade de corrente. Estes contatos são utilizados para realizar o próprio comando do contator, sinalização e acionamento de outros dispositivos elétricos.

A Figura 2.10 mostra a representação do contator.

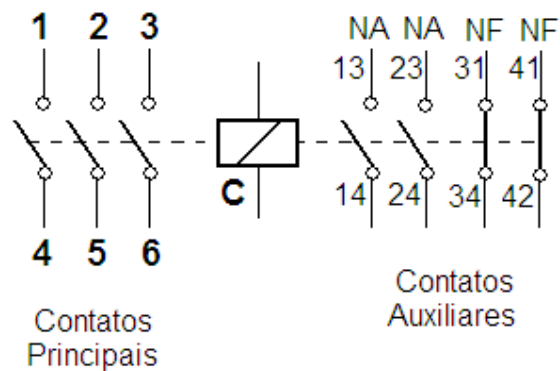


Figura 2.10 - Representação do Contator

#### 2.5.5. Limitadora de fim de curso

FIALHO define limitadora de fim de curso como:

“É um dispositivo do tipo chave impulso, também denominado de *micro-switch*. É comumente utilizado como fim de curso dos atuadores lineares (cilindros), servindo para comutar os solenóides das válvulas eletropneumáticas. Construtivamente, podem ser normalmente abertas (NA) ou normalmente fechadas (NF).” (2006, p.140).



## 2.6. Controlador Lógico Programável (PLC)

O Controlador lógico programável, ou simplesmente PLC (*Programmable Logic Controller*) é definido por Georgini (2007) como sendo “um dispositivo de estado sólido, um computador industrial, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle, além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de sistemas automatizados.”

A Figura 2.11 mostra de forma genérica a aplicação de um PLC.

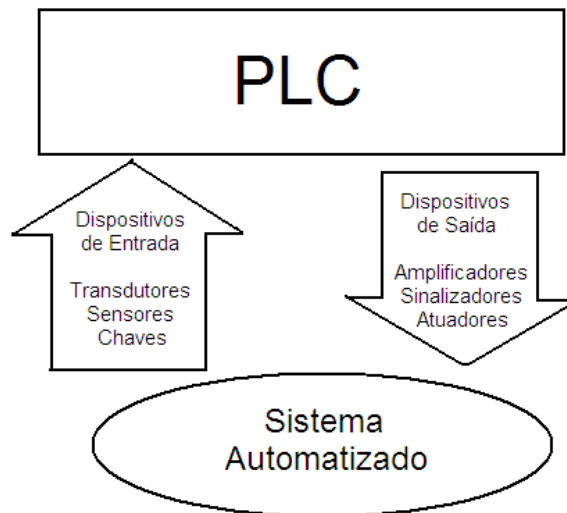


Figura 2.11 – Aplicação genérica do PLC

### 2.6.1. Blocos que compõe um PLC

Segundo Georgini (2007), os principais blocos que compõe em PLC são:

- CPU (*Central Processing Unit* – Unidade Central de Processamento): compreende o processador (microprocessador, microcontrolador ou processador dedicado), o sistema de memória (ROM e RAM) e os circuitos auxiliares de controle.

- Circuitos/Módulos de I/O (*Input/Output* – Entrada/Saída): podem ser discretos (sinais digitais: 12 VDC, 110 VAC, contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados) ou analógicos (sinais analógicos: 4-20mA, 0-10VDC, termopar).
- Fonte de Alimentação: responsável pela tensão de alimentação fornecida à CPU e aos Circuitos/Módulos de I/O.
- Base ou *Rack*: proporciona conexão mecânica e elétrica entre a CPU, os Módulos de I/O e a Fonte de Alimentação. Contém o barramento de comunicação entre eles, no qual os sinais de dados, endereço, controle e tensão de alimentação estão presentes.

A Figura 2.12 mostra a estrutura básica do PLC, na qual é possível observar todos os blocos descritos anteriormente. Já a Figura 2.13 exemplifica um PLC comercial.

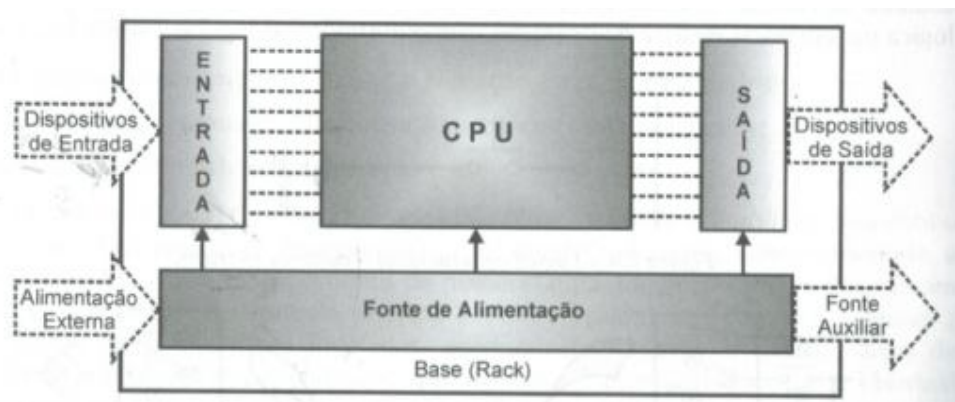


Figura 2.12 – Estrutura básica do PLC (FONTE: GEORGINI, 2007, p.49).

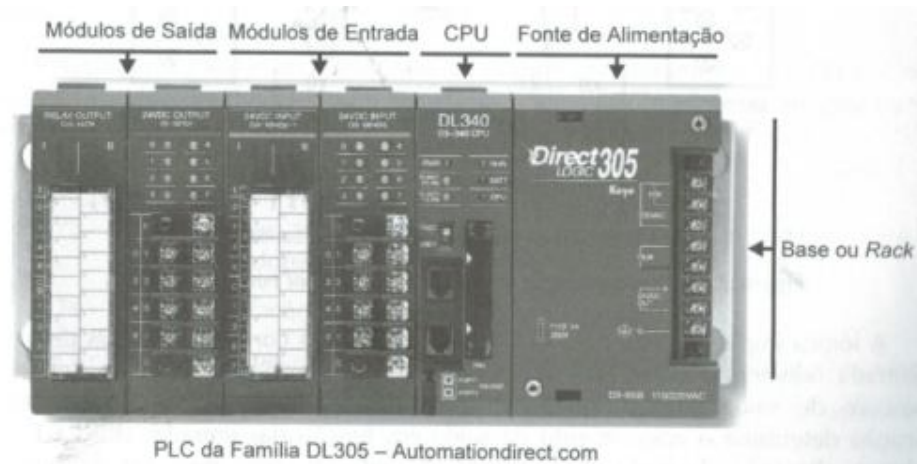


Figura 2.13 – PLC comercial e seus blocos (FONTE: GEORGINI, 2007, p.49).

## 2.6.2. Linguagem de Programação *Ladder*

Georgini (2007) explica que mesmo tendo sido a primeira linguagem destinada especificamente à programação de PLCs, a linguagem *Ladder* mantém-se ainda como a mais utilizada. O nome *Ladder* deve-se a representação da linguagem se parecer com uma escada (*ladder*), na qual duas barras verticais paralelas são interligadas pela Lógica de Controle, formando os degraus (*rungs*) da escada.

A cada Lógica de Controle existente no Programa de Aplicação dá-se o nome de *rung*, a qual é composta por colunas e linhas, conforme apresentado na Figura 2.14.

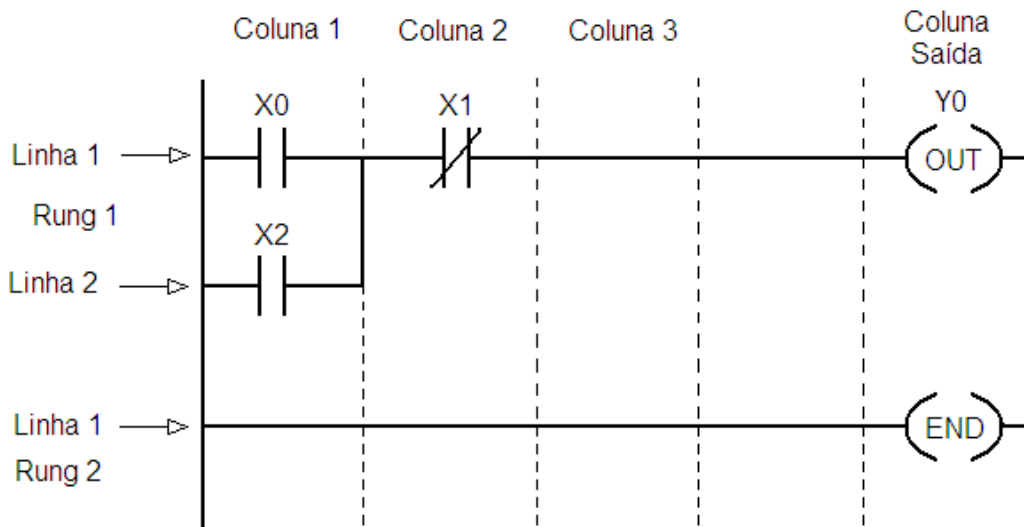


Figura 2.14 – Componentes da programação em linguagem *Ladder*

Na Figura 2.14, os elementos do tipo X0 e X2 se referem a contatos normalmente abertos, e os elementos do tipo X1 se referem a contatos normalmente fechados.

## 2.7. Rebites e o processo de rebiteagem

Rebite é um fixador mecânico metálico vastamente utilizado na indústria para fazer união entre peças, sejam elas metálicas ou não. Por exemplo, nas indústrias metalúrgicas utilizam-se os rebites para fixar alças de madeira em painéis de alumínio.

Existe uma grande variedade de tipos de rebites, como os rebites sólidos, os rebites tubulares, os rebites semi-tubulares, e os rebites a repuxo. No presente trabalho, a ferramenta trabalhará para realizar a rebiteagem com rebites do tipo sólido, como mostrados na Figura 2.15.



Figura 2.15- Rebites sólidos (Fonte: CAPMAC INDUSTRY. Disponível em: <http://www.capmac-industry.com.br/rebitagem-capmac-industry/rebitagem/> Acesso em 10 fev. 2014)

O rebite sólido é o mais utilizado na indústria, pela grande quantidade de aplicações, como por exemplo, na união entre chapas. Ele é composto por duas partes: a cabeça e o corpo.

Niemann (1971) afirma que a rebitagem “consiste em transpassar com rebites as peças a serem unidas, golpeando-se, a seguir, os rebites com um punção a fim de que eles comprimam fortemente, uma contra a outra, as peças a serem unidas.”

Niemann (1971) diz também que “na junção de um par de chapas por rebite, uma força de tração é aplicada a uma das chapas transmitindo à outra sob a forma de força de atrito, e somente quando se ultrapassa o limite de deslizamento entre as duas chapas é que se dá o contato entre a superfície cilíndrica do furo e a haste do rebite, solicitando-a por compressão e por força cortante.”

O processo de união por rebites tem a grande vantagem de serem totalmente desprovidas de qualquer tipo de poluição, como fumaças e faíscas, como acontecem nos processos de soldagem.

## Capítulo 3

### 3. Desenvolvimento do Projeto

Neste capítulo serão descritas todas as etapas de elaboração e desenvolvimento do projeto.

#### 3.1. Modelo do sistema mecânico

O modelo proposto, ilustrado na Figura 3.1, consiste em um mecanismo que contenha dois graus de liberdade, sendo os dois graus com movimentos lineares. O primeiro grau seria o de aproximação da máquina à peça a ser rebitada, e o segundo grau o de aproximação e execução da ferramenta de rebitagem, onde o cilindro B é responsável por aproximar e o cilindro C por executar a rebitagem.

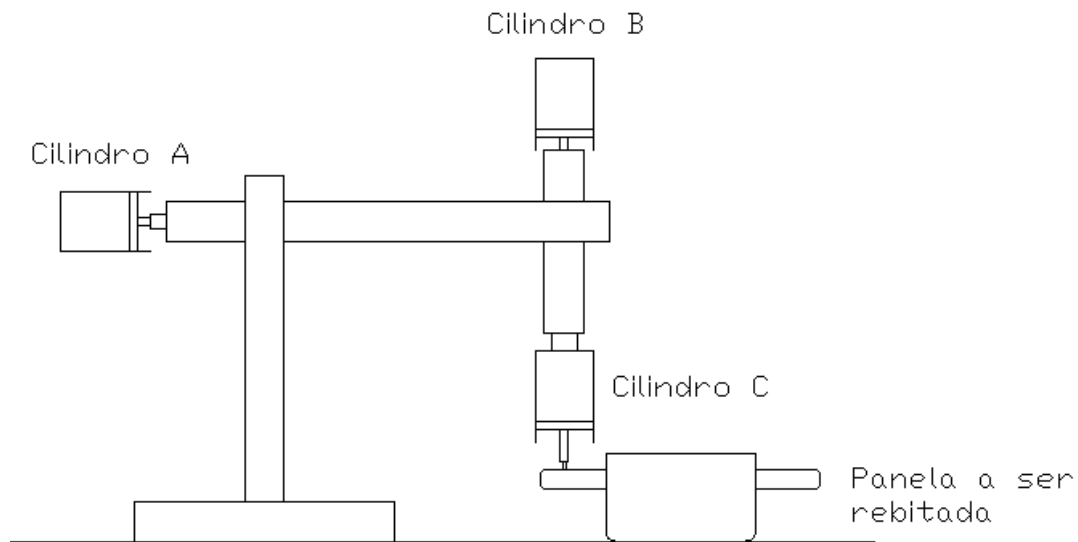


Figura 3.1 - Modelo do mecanismo

Mais adiante será apresentado o projeto da estrutura mecânica que contém o mecanismo descrito, com as dimensões devidamente especificadas.

### 3.2. Projeto de automação eletropneumática do sistema

Nesta seção será detalhado passo a passo o projeto de automação eletropneumática do sistema proposto. Como o mecanismo possui três graus de liberdade, então o sistema possuirá três cilindros que serão responsáveis por dar dinâmica ao sistema.

Em primeiro lugar, fez-se o diagrama trajeto-passo, que informa os estados (recuado ou avançado) de cada cilindro em cada etapa do processo. O processo de rebitagem possui seis passos, definidos como:

- Passo 1: Cilindro A avança (aproximação da máquina)
- Passo 2: Cilindro B avança (aproximação da ferramenta)
- Passo 3: Cilindro C avança (início da rebitagem)
- Passo 4: Cilindro C recua (término da rebitagem)
- Passo 5: Cilindro B recua (afastamento da ferramenta)
- Passo 6: Cilindro A recua (afastamento da máquina)

Com base nos seis passos descritos anteriormente, montou-se os diagramas trajeto-passo e posicionamento dos atuadores, como pode ser visto na Figura 3.2.

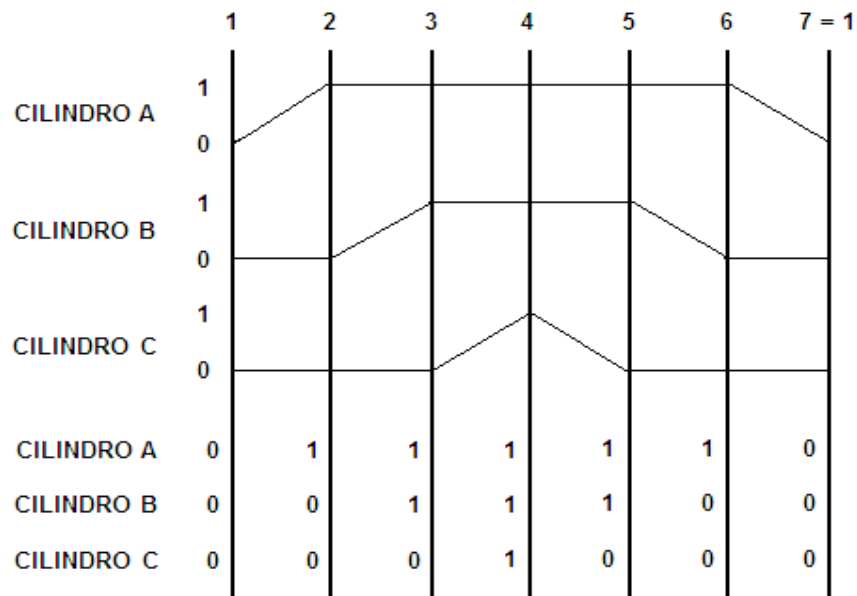


Figura 3.2 - Diagramas trajeto-passo e posicionamento dos atuadores

No diagrama construído, o estado 1 representa o cilindro avançado, e o estado 0 representa o cilindro recuado.

Observa-se que no diagrama de posicionamento dos atuadores, os estados dos cilindros A, B e C se repetem duas vezes, em duas combinações diferentes (passos 2 e 6, e passos 3 e 5). Nota-se também que as combinações iguais geram acionamentos diferentes, por exemplo, no passo 2 o comando é dado para se acionar o cilindro B, já no passo 6 o comando é dado para se recuar o cilindro A. Segundo Bonacorso (1997), este fato é indesejável, pois combinações iguais só devem gerar acionamentos iguais. Neste caso, insere-se um relé para diferenciar os passos que se repetem. O relé (K) irá atuar como uma memória, encontrando-se acionado nos passos 2 e 3, e desacionado nos passos 5 e 6, diferenciando-se todos os passos, situação ideal para descrever o sistema. O novo diagrama pode ser observado na Figura 3.3.

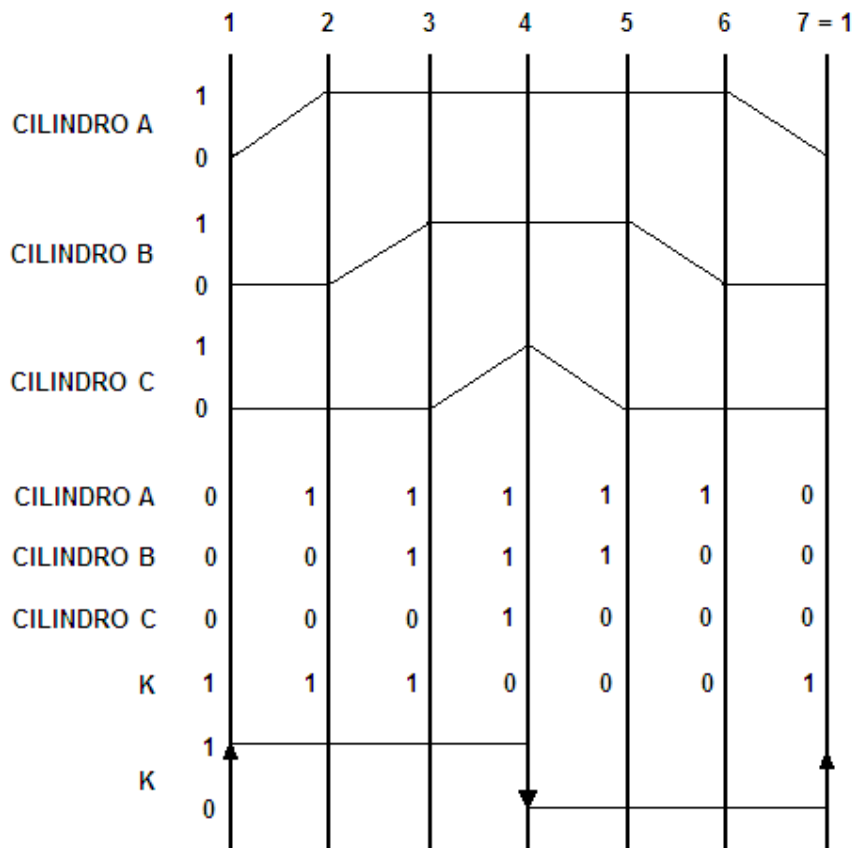


Figura 3.3 - Diagrama trajeto-passo e posicionamento dos atuadores com a inclusão do relé



O próximo passo do projeto de automação consiste em construir os diagramas de atuação dos sensores e de comando dos atuadores.

Para se fazer o diagrama de atuação dos sensores, deve-se registrar o momento em que cada um dos dois sensores de cada cilindro (início e fim de curso) permanecem acionados durante os seis passos do ciclo de trabalho do sistema automatizado. Já no diagrama de comando dos atuadores, registram-se os momentos em que se devem liberar pressão para que os cilindros se mantenham avançados, ou recuados. Os diagramas traçados (incluindo os anteriores) podem ser vistos na Figura 3.4.

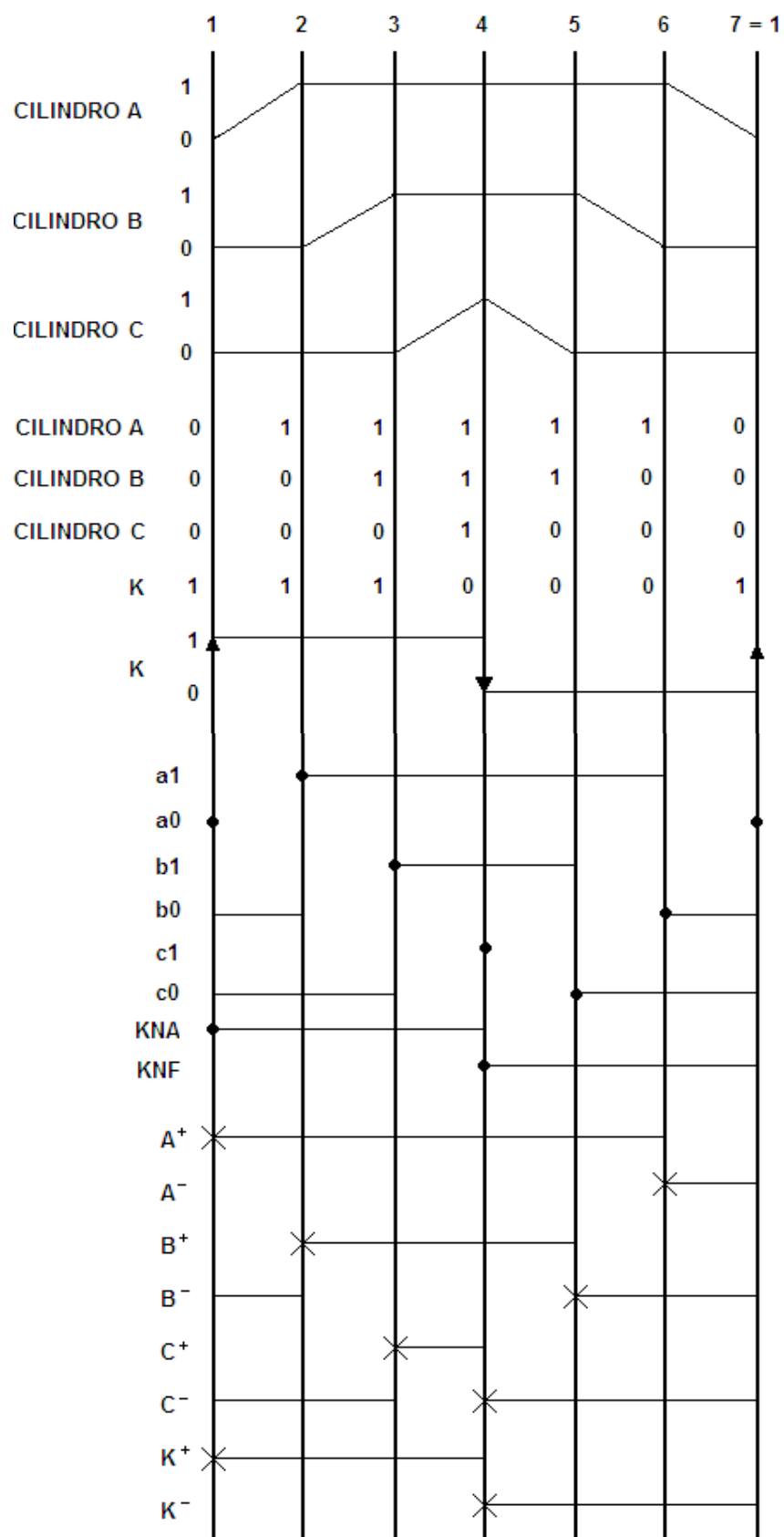


Figura 3.4 - Diagramas do projeto de automação do sistema

Com base nos diagramas da Figura 3.4, pode-se descrever as equações de acionamento dos atuadores. Para isso, devem-se observar quais sensores iniciam seu acionamento no mesmo passo que o atuador na qual se deseja obter o equacionamento. Por exemplo, no caso do atuador A+, observa-se que ele começa a ser acionado no passo 1, assim como os sensores a0 e KNA, que são acionados no mesmo instante. Além disso, o tempo de atuação do sensor deve ser menor, ou igual, ao tempo de atuação do atuador.

$$t_{sensor} \leq t_{atuador} \quad (1)$$

Observando-se os diagramas, conclui-se que ambos os sensores possuem tempo de atuação menor que o do atuador. Logo, ambos os sensores podem acionar o avanço do cilindro A.

$$A^+ = a_0 \cdot S \quad (2)$$

Em que S é um sensor de presença. Este sensor de presença energizará o circuito se ele detectar a presença de uma peça a ser rebitada. Do contrário, o sensor deixará o circuito aberto, e conseqüentemente, desligado.

Para o atuador A-, tem-se que o sensor b0 é acionado no mesmo instante que o recuo do cilindro A, porém há um inconveniente: os tempos do sensor e do atuador não obedecem à equação (1). Neste caso, faz-se uma operação **E** (*and*) com outro sensor que atua no mesmo período que o atuador A-, de preferência um sensor de relé. Neste caso, usou-se o sensor KNF. Assim, tem-se a seguinte equação para A-:

$$A^- = b_0 \cdot KNF \quad (3)$$

A operação  $b_0.KNF$  da equação (3) garante um tempo de sensor igual ao tempo de atuador. Neste caso pode-se dizer que o cilindro A possui um comando unidirecional, ou seja, o inverso da equação (3) é capaz de acionar o avanço do cilindro A.

$$\begin{aligned}
 A^+ &= \overline{A^-} \\
 A^+ &= \overline{b_0.KNF} \\
 A^+ &= \overline{b_0} + KNA
 \end{aligned} \tag{4}$$

Utilizando-se este conceito de comandos unidirecionais, consegue-se simplificar muito o circuito de controle, pois neste caso, utiliza-se apenas um solenóide por cilindro, ao invés de dois (um para avanço, e outro para recuo).

Utilizando o método descrito anteriormente, foi possível obter as demais equações de acionamento dos atuadores.

$$B^+ = a_1.KNA \tag{5}$$

$$B^- = c_0.KNF \tag{6}$$

$$C^+ = b_1.KNA \tag{7}$$

$$C^- = \overline{b_1} + KNF \tag{8}$$

$$K^+ = a_0 \tag{9}$$

$$K^- = c_1 \tag{10}$$

Baseado nas equações descritas projetou-se o circuito elétrico de controle do sistema automatizado, como pode ser visto na Figura 3.5.

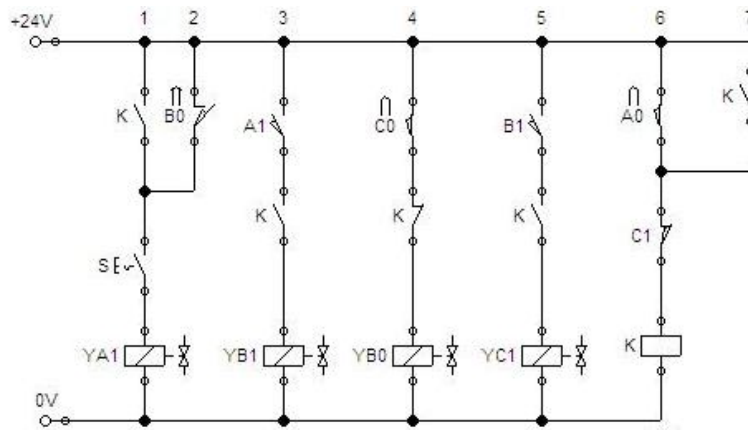


Figura 3.5 - Circuito elétrico de controle do sistema

Com o circuito elétrico de controle projetado, simulou-se o sistema automatizado no *software Fluidsim*, conforme a Figura 3.6, obtendo-se resultados satisfatórios, ou seja, o sistema eletropneumático funcionando conforme o esperado.

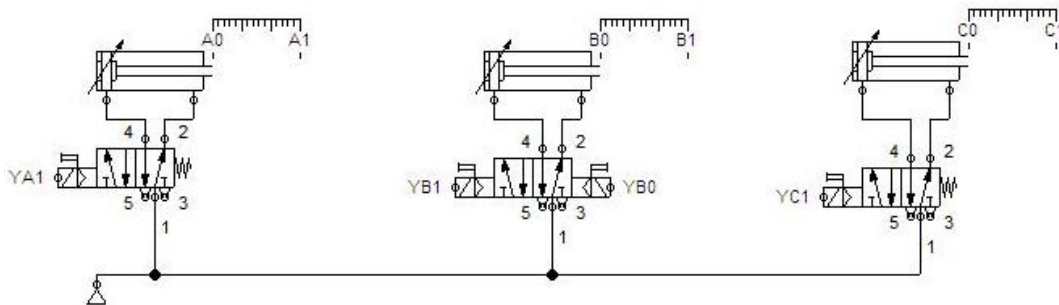


Figura 3.6 - Simulação do sistema eletropneumático

### 3.3. Programação em *Ladder* para implementação no PLC

Nesta seção será apresentada a programação em *ladder* do circuito de controle mostrado na seção anterior. Com o diagrama *ladder* programado, torna-se possível a implementação do mesmo em um PLC, eliminando assim boa parte dos fios e elementos do circuito, pois o PLC será responsável por comandar todas as ações do sistema pneumático sem a necessidade do circuito de controle real.

Conforme já foi visto na Seção 2.6.2, a programação em *ladder* é dividida em *Rungs* (ou *Networks*). Cada *Rung* se refere a um ramo do circuito

de controle. Por exemplo, o primeiro ramo do circuito contém um contato de relé (K) normalmente aberto. Em paralelo a ele há um contato do sensor B0 também normalmente aberto. Em série a este paralelo, há o contato normalmente aberto do sensor de presença (S), que por fim está conectado à bobina do solenóide YA1. O *Rung* referente a este ramo do circuito pode ser conferido na Figura 3.7.

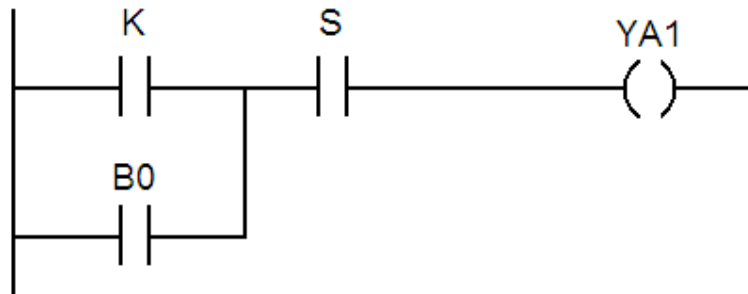


Figura 3.7 – *Rung* referente ao primeiro ramo do circuito de controle

Partindo-se do mesmo princípio, programou-se os *rungs* dos demais ramos do circuito de controle. A programação completa, em *ladder*, do circuito de controle da automação do sistema pode ser vista na Figura 3.8.

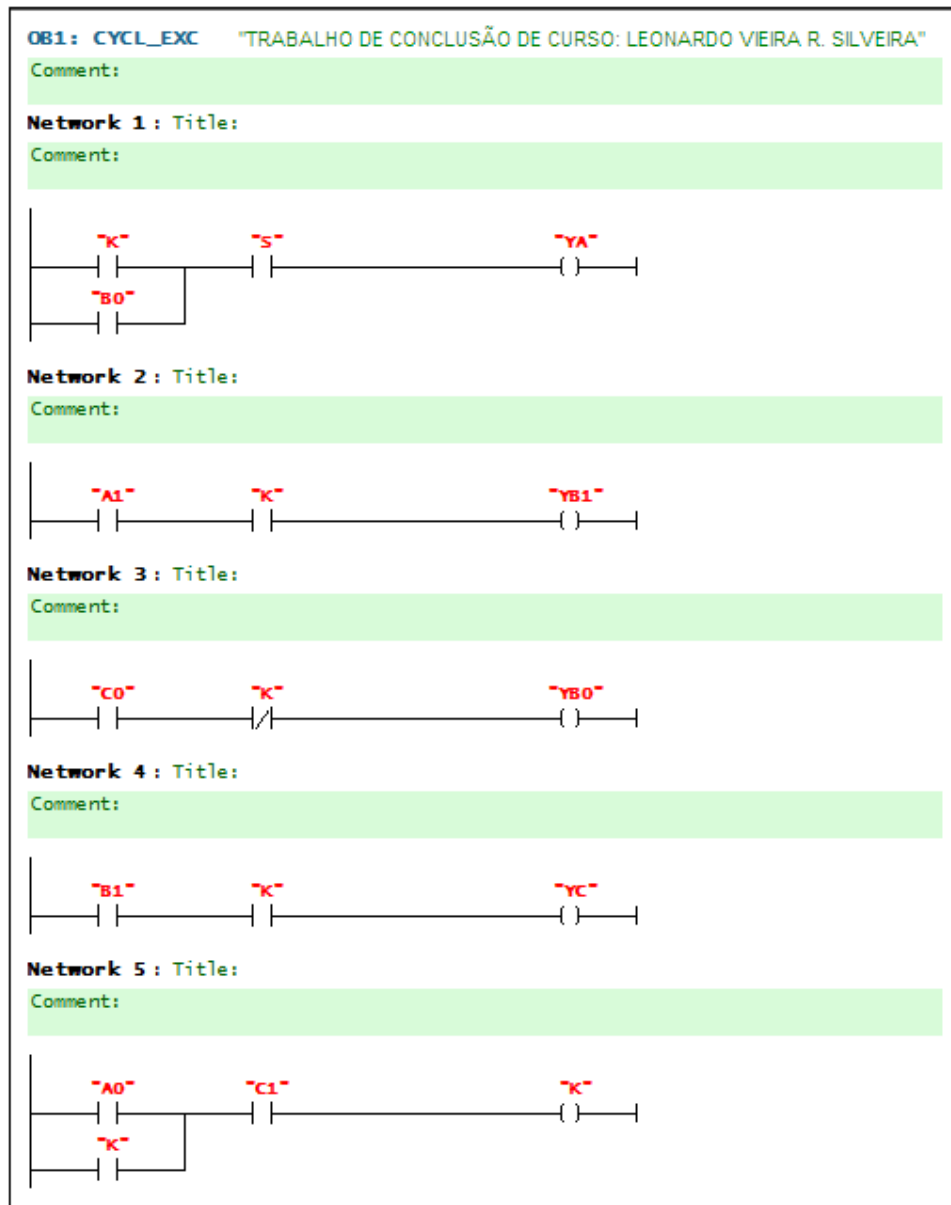


Figura 3.8 – Diagrama *Ladder* referente ao circuito de controle do sistema

Para programá-lo no PLC, utiliza-se o *software* FST 4, da FESTO. O PLC utilizado neste caso é o modelo RS 232 da FESTO, que pode ser visto na Figura 3.9.



Figura 3.9 – PLC RS 232 da FESTO

### 3.4. Projeto do Sistema Pneumático

Nesta seção será apresentado o projeto pneumático do sistema. Este projeto baseia-se em basicamente especificar os atuadores (cilindros), levando em conta as forças em que cada parte do mecanismo irá solicitar, a necessidade de atuação, e será feito também de acordo com a pressão disponível pelo compressor.

O compressor utilizado no projeto possui um volume interno de 175 litros, e dispõe de uma pressão máxima de trabalho admissível de 9,30 Kgf/cm<sup>3</sup>, que equivale a 912,33 Kpa. Entretanto, esta pressão pode ser reduzida para um determinado valor desejado utilizando uma válvula reguladora de fluxo.

Sabe-se que a pressão em um cilindro (em Pa) é dada pela seguinte equação:

$$P = \frac{F}{A_p} \quad (11)$$



Em que  $F$  é a força (em Newtons), e  $A_p$  é a área do pistão (em  $m^2$ ). A equação pode ser reescrita como:

$$F = P.A_p \quad (12)$$

Observa-se que, como a área do pistão é fixa, a força exercida pelo cilindro pode ser controlada quando se ajusta uma pressão desejada através do regulador de fluxo.

Especificou-se para cada cilindro o diâmetro do pistão, e o comprimento do curso. O comprimento do curso foi dimensionado levando-se em conta a segurança do artefato (no caso do cilindro A), e também a necessidade da atuação (casos dos cilindros B e C). Optou-se por começar pelo cilindro C.

- Especificação do Cilindro C

O cilindro C é responsável por fazer a atuação final, ou seja, será responsável por aplicar a força para amassar o rebite, e assim realizar a rebitagem. De acordo com dados de fabricantes de rebites (*Capmac Industry*), a força para amassá-lo é de 130 lbf, o que equivale a 578 N. Não existe um tamanho exato de curso para realizar a rebitagem. Dessa forma, convencionou-se usar, neste caso, um cilindro com curso de 75 mm, que é um valor comercial. Para este valor de curso, temos diversos valores de diâmetros. Adotou-se o cilindro de 40mm de diâmetro, que com o regulador de fluxo ajustado, consegue-se atingir a força de 578 N, necessário para realizar a rebitagem. Calculou-se a pressão necessária para a operação:

$$P = \frac{F}{A_b} \rightarrow P = \frac{578}{\frac{\pi(0,04)^2}{4}} \rightarrow P = 459,96KPa$$

Considerando-se a pressão máxima que o compressor pode oferecer, é necessário reduzir a pressão em aproximadamente 50%, ou seja, reduzir a pressão à metade, para que o cilindro possa avançar a uma força de 578N, suficiente para achatar o rebite.

- Especificação do cilindro A

O cilindro A é responsável para fazer o deslocamento horizontal da ferramenta. O curso deste cilindro deverá ter um comprimento tal que ofereça segurança a quem esteja trabalhando no sistema. Adotou-se um curso de 200 mm, considerando que esse seja o tamanho aproximado de um palmo. Ou seja, se por ventura houver uma falha em alguma válvula e a ferramenta de rebitagem avançar, a ferramenta estará a uma distância de 200 mm da mão do operário, proporcionando segurança e conseqüentemente evitando um possível acidente.

Quanto a força que este cilindro deverá proporcionar para fazer o deslocamento, deve-se considerar o valor total de massa que o cilindro deverá empurrar:

$$Massa_{TOTAL} = CilindroB + CilindroC$$

O cilindro B (que será especificado a seguir) possui massa de 356 g, e o cilindro C possui massa de 966 g, totalizando 1,322 kg. Há de se acrescentar ainda as massas das chapas que servirão para unir e prender os cilindros, além dos atritos que há no movimento. As chapas possuem, juntas, massa de 100 g. Os atritos foram estimados em 0,1 Kgf, que equivale ao se puxar uma massa de 100 g. Logo, o cilindro A deverá proporcionar uma força para empurrar 1,522 kg de massa. Por ser uma força relativamente pequena, adotou-se um cilindro MINI-ISO de diâmetro 25 mm. Considerando a pressão máxima fornecida pelo compressor, calcula-se a força máxima que o cilindro especificado pode oferecer:

$$F_{MÁX} = P.A_b \rightarrow F_{MÁX} = 912,33 \times 10^3 \times \frac{\pi}{4} (25 \times 10^{-3})^2 \rightarrow F_{MÁX} = 447,84N$$

Logicamente é uma força extremamente elevada para a solicitação. Dessa forma, abaixa-se a pressão até um valor desejado utilizando uma

válvula reguladora de fluxo. Neste caso, uma força de 1N seria o suficiente para dar uma dinâmica aceitável ao pistão do cilindro A (daria ao pistão uma aceleração de aproximadamente 0,657 m/s<sup>2</sup>).

- Especificação do cilindro B

O cilindro B tem a função de aproximar a ferramenta à peça a ser rebitada, realizando um movimento na direção vertical. O curso deste cilindro foi adotado em 150 mm, pelo fato de esta ser uma altura relativamente boa e segura para a aproximação da ferramenta. Para o avanço deste cilindro não é necessário aplicar uma pressão, pois a própria força da gravidade é capaz de fazer este avanço. Portanto, usa-se uma pressão mínima, somente para garantir o perfeito funcionamento das válvulas, pois sem pressão, as válvulas não comutam. Para o retorno, é necessária uma pressão tal que proporcione uma força para levantar o cilindro C juntamente com a chapa que os une. O diagrama da Figura 3.10 ilustra bem isso.

Assim tem-se:

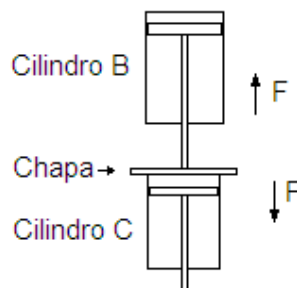


Figura 3.10 – Diagrama de forças dos cilindros B e C

A força F de retorno do cilindro B deverá ser maior que o peso P que a haste do cilindro B sustenta. Logo:

$$F > P \rightarrow F > (0,966 + 0,1) \times 9,81 \rightarrow F > 10,46N$$

Assim, para a haste do cilindro B conseguir erguer o cilindro C juntamente com a chapa que os une, é necessária uma força maior que 10,46N. Para isto, utilizou-se um cilindro MINI ISO de diâmetro 25 mm. Uma

força de 12 N é bem adequada, pois a força resultante neste caso seria de 1,54N que elevaria o cilindro C com uma velocidade baixa e segura. Calculou-se então a pressão de retorno necessária para se atingir esta força de retorno:

$$P = \frac{12}{\frac{\pi(0,025)^2}{4}} \rightarrow P = 24,45KPa$$

Portanto, ajusta-se em uma válvula reguladora de fluxo, uma pressão de 24,45 KPa para proporcionar a força de 12N de retorno do cilindro B.

Tendo os cilindros especificados, eles foram adquiridos pelos seguintes preços: o cilindro A custou R\$ 120,00, o cilindro B R\$ 90,00, e o cilindro C R\$ 180,00. Suas fotografias podem ser vistas nas Figuras 3.11, 3.12, e 3.13.



Figura 3.11 – Cilindro A



Figura 3.12 – Cilindro B



Figura 3.13 – Cilindro C

### **3.5. Projeto da Estrutura Mecânica**

A última etapa deste trabalho consiste no projeto e montagem da estrutura mecânica. Esta estrutura será responsável por conter e suportar os elementos do projeto mecânico, tais como cilindros, barras, e elementos de união (chapas, parafusos, porcas, entre outros).

Esta estrutura deverá ser capaz de proporcionar um equilíbrio estático ao mecanismo, e permitir o movimento das hastes dos cilindros, ou seja, será uma espécie de 'corpo do projeto'.

As seções a seguir detalham como foi projetada cada parte da estrutura.

#### **3.5.1. Projeto da caixa**

A caixa da estrutura definirá os limites do mecanismo. Em suas paredes serão acoplados os cilindros e barras da estrutura. A caixa será feita de chapas de alumínio com 2 mm de espessura. A escolha do alumínio foi pelo fato dele ser um metal dúctil, resistente, e não corrosivo. Quanto às suas dimensões, elas foram definidas a partir do tamanho dos cilindros, de suas hastes, do tamanho das peças a serem rebitadas, e considerando também a estabilidade da caixa. Diante disto, foi dimensionada a caixa, e sua representação em 3D pode ser vista na Figura 3.14.

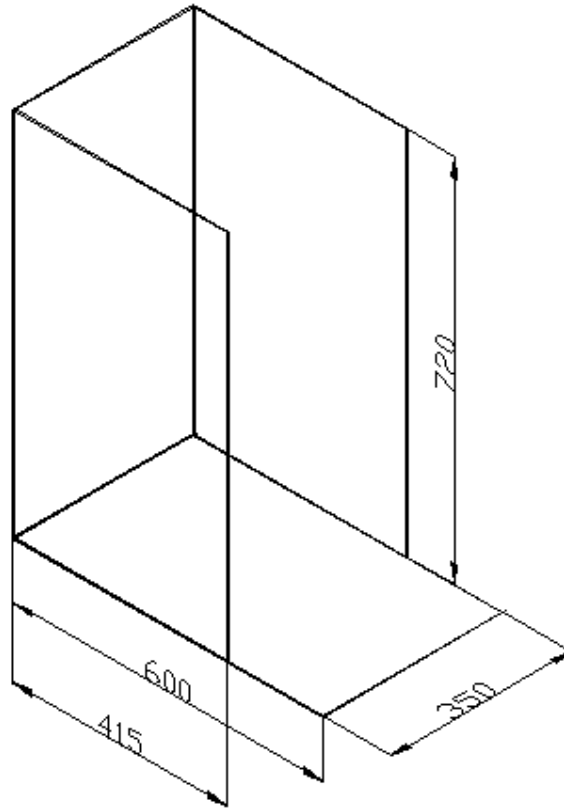


Figura 3.14 – Desenho da Caixa

Em que a medida das cotas é dada em milímetros. A união das chapas para se construir a caixa foi feita através de solda.

### 3.5.2. Projeto dos acoplamentos

Nesta seção serão detalhados como foram feitos os acoplamentos entre os cilindros na estrutura.

Primeiramente o cilindro A foi acoplado na chapa de fundo da caixa dimensionada na seção anterior, através de um furo feito 80 mm abaixo do topo, presa por um conjunto parafuso-porca, conforme a Figura 3.15.

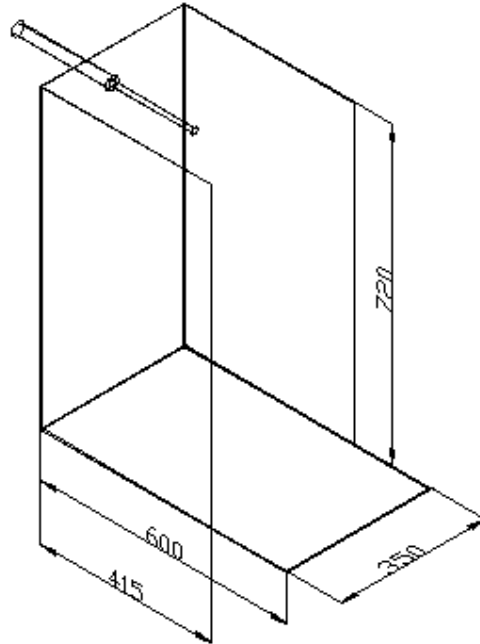


Figura 3.15 – Cilindro A acoplado à caixa

O cilindro B foi acoplado ao cilindro A através de uma chapa de alumínio laminada em forma de L, que foi parafusada entre eles. O mesmo procedimento foi adotado ao se fazer o acoplamento do cilindro B com o cilindro C, com a diferença que neste caso, usou-se uma chapa de alumínio fundida, pois foi necessária uma maior rigidez no acoplamento. Para dar sustentação ao mecanismo, soldaram-se duas barras de alumínio entre as paredes laterais da caixa, uma barra no início de curso do cilindro A, e a outra no fim de curso do cilindro A. Por fim, para deixar o cilindro C mais firme na estrutura, parafusou-se uma chapa, encurvada nas extremidades, entre os cilindros B e C, acima da chapa fundida que os une. A estrutura completa pode ser vista na Figura 3.16, onde o cilindro A está na cor azul, o cilindro B na cor vermelha, e o cilindro C na cor verde.

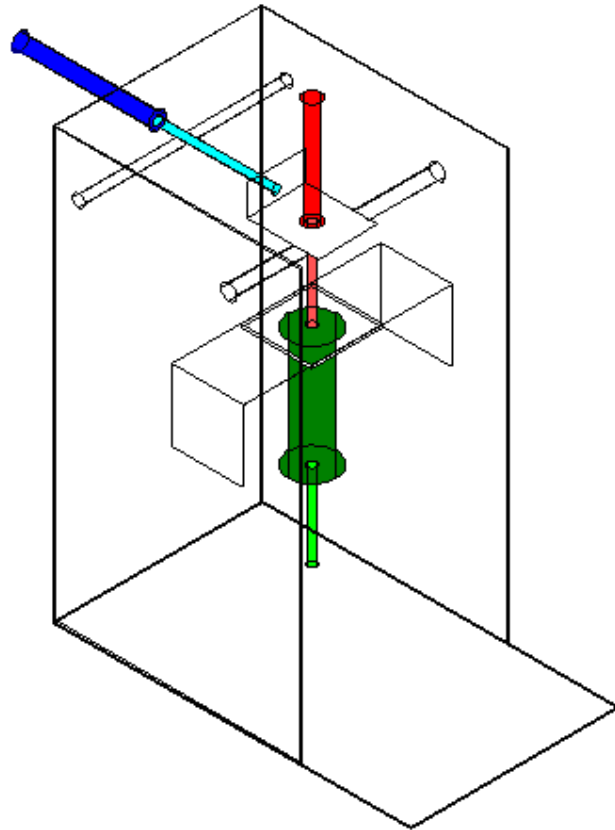


Figura 3.16 – Estrutura mecânica do projeto

Nesta estrutura, a peça a ser rebitada deverá ser posicionada na base da estrutura, conforme o tamanho e o tipo da peça. Quanto à forma de prender a peça, isto dependerá da aplicação na indústria. Por exemplo, no caso de caçarolas, podem-se utilizar anteparos que prenderão a peça na posição correta para realizar a rebiteagem de forma satisfatória.



## Capítulo 4

### 4. Resultados obtidos

No presente capítulo serão apresentados os resultados experimentais obtidos no trabalho realizado.

#### 4.1. Resultados do Projeto de Automação

O projeto de automação apresentado na seção 3.2 apresentou resultados satisfatórios. Conforme foi feito na simulação no software *FluidSIM*, os cilindros avançaram e recuaram conforme a ordem estabelecida no diagrama trajeto-passo.

Além da simulação, fez-se uma montagem do sistema eletropneumático, utilizando o painel de comandos elétricos de 24V do Laboratório de Metrologia e Sistemas Hidráulicos-Pneumáticos, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – *Campus* Divinópolis, como mostra a Figura 4.1. Na montagem, utilizaram-se cilindros didáticos, assim como válvulas solenóides e sensores ópticos de fim de curso, todos pertencentes ao kit da FESTO.

O sistema montado no painel, assim como na simulação, funcionou conforme o planejado, confirmando o perfeito funcionamento da automação do sistema.

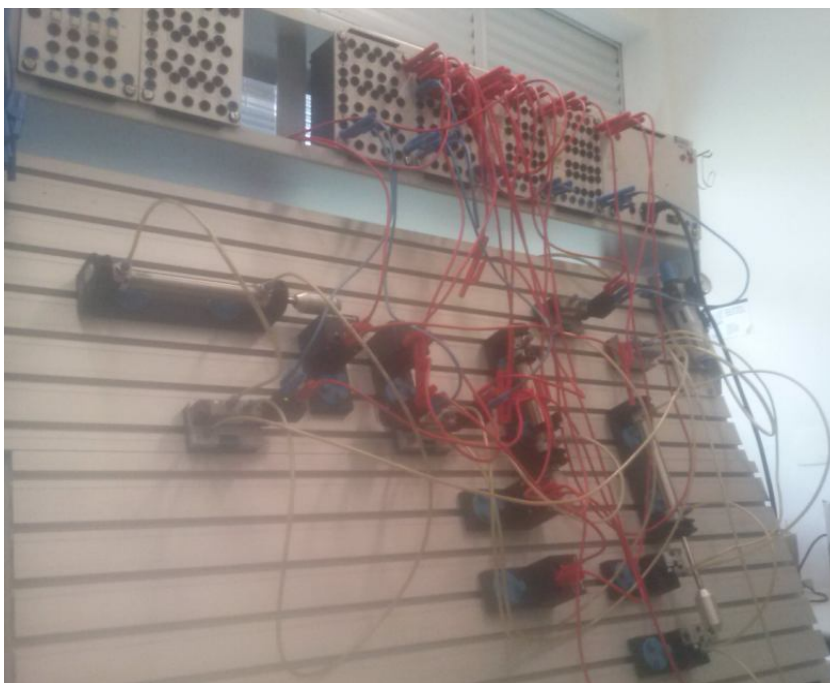


Figura 4.1 – Montagem do Sistema Eletropneumático no painel didático

## 4.2. Resultados do Projeto Pneumático

O projeto pneumático foi simulado no *software FluidSim*, obtendo-se os seguintes resultados teóricos:

Tabela 4.1 – Resultados obtidos no sistema pneumático

Cilindro	Velocidade Média (Avanço)	Velocidade Média (Retorno)	Trabalho (Avanço)	Trabalho (Retorno)	Potência (Avanço)	Potência (Retorno)
A	0.14 m/s	-0.14.m/s	0.20 J	0.20 J	0.14 W	0.14 W
B	0.36 m/s	-0.17 m/s	2.46 J	0.23 J	4.32 W	0.26 W
C	0.27 m/s	-0.27 m/s	4.33 J	4.33 J	156 W	156 W

Observa-se que no caso dos cilindros A e C, os resultados obtidos tanto para avanço quanto para recuo são os mesmos. Isto ocorre devido ao fato das forças de avanço e recuo serem idênticas, e também pelo fato de que em ambos os movimentos a carga suportada pelas hastes dos cilindros serem praticamente as mesmas também.

No caso do cilindro B, a força resultante no movimento de recuo é menor, isso porque no recuo a haste do cilindro necessita erguer o cilindro C, o

que não ocorre no avanço, pois neste caso a haste do cilindro B movimentada o cilindro C pela força da gravidade juntamente com a força pela pressão no cilindro. Isto justifica a diferença nos valores de velocidade, trabalho, e potência nos movimentos de avanço e recuo do cilindro B.

Diante destes dados, é possível calcular o tempo total que o dispositivo gasta para realizar um ciclo de trabalho, a partir da definição matemática da potência:

$$Pot = \frac{\tau}{\Delta t} \quad (13)$$

Em que  $\tau$  é o trabalho realizado e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo gasto para realizá-lo. Esta equação pode ser reescrita como:

$$\Delta t = \sum \frac{\tau}{Pot} \quad (14)$$

Portanto, tem-se:

$$\Delta t = \frac{0.20}{0.14} + \frac{0.20}{0.14} + \frac{2.46}{4.32} + \frac{0.23}{0.26} + \frac{4.33}{156} + \frac{4.33}{156} \rightarrow \Delta t = 4.37s$$

Ou seja, a máquina gastará aproximadamente 4.37 segundos em cada ciclo de trabalho.

### 4.3. Resultado da montagem final da Estrutura Mecânica

A estrutura mecânica apresentada na seção 3.5 foi montada na empresa Metalúrgica Luciana LTDA, empresa sediada no Centro Industrial da cidade de Divinópolis, Minas Gerais, que possui em suas dependências uma pequena oficina que oferece maquinários e ferramentas úteis para a montagem da estrutura mecânica do projeto. O resultado da montagem pode ser visto na Figura 4.2.



Figura 4.2 – Estrutura Mecânica do Projeto

A estrutura apresentou boa resistência às forças internas, e a mobilidade das hastes foi satisfatória. Quanto à estabilidade, a estrutura balança ligeiramente pelo fato do fundo da estrutura ter empenado durante o processo de soldagem. Este problema pode ser resolvido trocando o fundo da estrutura, ou então parafusando o fundo da estrutura em uma bancada de trabalho, deixando a mesma fixa.

Durante a movimentação das hastes dos cilindros, ocorre um desgaste nas paredes do mecanismo e também nos eixos de sustentação. Para ajudar a solucionar este problema, aplicou-se um óleo lubrificante nas partes da estrutura onde ocorre o tal desgaste, que além de propiciar um menor desgaste, ainda diminui o atrito que há nas movimentações do mecanismo.

#### **4.4. Resultados gerais do trabalho**

O sistema projetado neste trabalho apresenta uma série de vantagens em relação as rebidadeiras atualmente utilizadas na indústria. Entre estas vantagens pode-se destacar a praticidade do equipamento, sua segurança, e seu nível de produtividade.

Estando o painel elétrico ligado, basta aproximar a peça à rebitadeira que o sensor de presença irá dar sinal para se iniciar o ciclo de trabalho da mesma. Como cada ciclo de trabalho é de aproximadamente 4,37 segundos, e que o tempo para colocar uma peça na posição de rebitagem seja de 3 segundos (tempo estimado), chega-se a conclusão que com uma rebitadeira automática seja possível rebitar, por exemplo, duas painéis por minuto (visto de cada painel possui quatro rebites), cento e vinte painéis por hora, ou ainda, 960 painéis por dia (considerando jornada de trabalho de oito horas diárias).

Este número de 960 painéis diários é bem elevado em se tratando de uma microempresa, o que comprova pelo menos na teoria, o bom desempenho do sistema automático desenvolvido neste trabalho.

## **Capítulo 5**

### **5. Considerações finais**

#### **5.1. Conclusão**

Primeiramente pode-se dizer que os objetivos centrais da pesquisa foram alcançados. O projeto de automação obteve resultados satisfatórios, assim como o projeto pneumático, além de ter sido possível construir um protótipo para a estrutura mecânica da rebidadeira automática.

Baseado em simulações, foi possível obter dados técnicos do projeto, como o trabalho realizado, a potência do equipamento, as velocidades de cada atuador, e o tempo gasto para realizar um ciclo de trabalho. Com este tempo, conseguiu-se estimar a produtividade do sistema, o que se conclui que este equipamento é capaz de rebitar um número relativamente grande de peças por dia em se tratando de microempresas, o que comprova a boa eficiência do sistema automatizado.

Espera-se que com o título de engenheiro, consiga-se aplicar os conceitos pesquisados neste trabalho em implementações profissionais em indústrias de pequeno porte que existem na região de Divinópolis, assim como em outras regiões também, criando a automação que praticamente inexistente nestas pequenas fábricas, a um custo totalmente acessível a estes microempresários.

## **5.2. Dificuldades Enfrentadas**

A principal dificuldade encontrada para a realização deste trabalho foi a falta de referências bibliográficas para a elaboração do projeto mecânico da rebidadeira. Por não se tratar de um trabalho mais voltado ao meio acadêmico, e sim de um projeto com grande aplicabilidade na indústria, não existem artigos ou livros que tratam diretamente deste tema. Por esse motivo foi necessário utilizar mais a criatividade para elaborar o projeto mecânico, o que demanda mais tempo.

Outra dificuldade foi a falta de estrutura para a fabricação e montagem da estrutura mecânica. A oficina disponível na empresa mencionada na seção 4.3 não se dispõe de equipamentos sofisticados, mas sim de máquinas simples e obsoletas.

Dificuldades para encontrar materiais, atrasos na entrega (principalmente dos cilindros pneumáticos), foi outro fator que atrasou na montagem do sistema.

## **5.3. Propostas de Continuidade**

Como proposta para trabalhos futuros, pode-se conseguir evoluir o trabalho desenvolvido até aqui, visto que este trabalho foi pioneiro em se tratando do tipo de linha produtiva no qual foi proposto automatizar. Como proposta, pode ser desenvolvida uma esteira industrial, onde, trabalhando em conjunto com a rebidadeira, poderia-se automatizar por completo o processo de rebitagem.

Outra proposta um pouco mais simples seria o de incluir outros tipos de ferramentas no mesmo projeto de automação, como por exemplo, uma broca. Assim, com inclusão de um motor e de uma broca na ponta do cilindro C, capacitaria converter a rebidadeira em uma furadeira. Com isso, este projeto de automação teria múltiplas utilidades dentro da indústria, bastando-se em apenas fazer a troca de ferramentas.

## 6. Referências bibliográficas

FIALHO, ARIVELTO BUSTAMANTE. *Automação Pneumática: projetos, dimensionamentos e análise de circuitos*. 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 2006.

BONACORSO, N. G; NOLL, VALDIR. *Automação Eletropneumática*. 9. ed. São Paulo: Editora Érica, 1997.

NORTON, ROBERT L. *Projeto de máquinas: uma abordagem sistemática*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SHIGLEY, JOSEPH E; MISCHKE, CHARLES R.; BODYNAS, RICHARD G. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GEORGINI, MARCELO. *Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs*. 9. Ed. São Paulo: Editora Érica, 2007.

NIEMANN, GUSTAV. *Elementos de Máquinas – Volume I*. 6. Ed. São Paulo: Editora Blucher, 1971.

CAPMAC INDUSTRY. Disponível em: < <http://www.capmac-industry.com.br/rebitagem-capmac-industry/rebitagem/>>. Acesso em: 06 jul. 2013.

FESTO BRAZIL. Disponível em: < [http://www.festo.com/cms/pt-br\\_br/6615.htm](http://www.festo.com/cms/pt-br_br/6615.htm)>. Acesso em: 06 jul. 2013.