

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Marcus Valério Rocha Garcia**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA  
MELHORIA DE PROCESSO UTILIZANDO  
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**Taubaté - SP  
2008**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Marcus Valério Rocha Garcia**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA  
MELHORIA DE PROCESSO UTILIZANDO  
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica.

Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

**Taubaté - SP  
2008**



Dedico este trabalho aos meus pais, Emerson e Sebastiana e aos meus sogros Ecequiel e Leonilda pelo incentivo, a minha esposa Lilian pela paciência e apoio e as minhas filhas Samanta e Maira pela compreensão da minha ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. João Sinohara da Silva Sousa, meu orientador, pela habilidade na condução deste trabalho ao longo desses anos.

A Universidade de Taubaté (UNITAU), que através de todos os professores, mestres e doutores do programa de mestrado em engenharia mecânica contribuiu para finalização deste trabalho e aquisição de novos conhecimentos.

A Vivian Regina Mendoza Monteiro e aos professores Msc. José Antônio Dias Carvalho, Dr. Francisco das Chagas Carvalho e a Msc. Márcia Aparecida de Oliveira, pelo apoio acadêmico corrigindo e revisando este trabalho.

A Dra. Patrícia Guimarães Abramof pela sua participação na composição da banca como professora externa convidada, que contribuiu na revisão deste trabalho.

Aos professores Msc. Cassius Adriano Craveiro Grillo e José Fábio Rodrigues da Silva pelo apoio técnico.

Aos amigos e companheiros, que de forma direta ou indireta, contribuíram para que este trabalho se concretizasse.

## **RESUMO**

Este trabalho teve por principal objetivo o desenvolvimento e implantação de melhorias de um processo industrial para fabricação de preservativos, utilizando automação industrial por meio da metodologia Seis Sigma. A motivação foi o crescente número de funcionários afastados ou readaptados devido a Lesão por Esforço Repetitivo (LER), pois além dos danos pessoais permanentes, existem ainda os gastos com substituição de trabalhadores, treinamentos, horas extras, recuperação de empregados e salários pagos a trabalhadores afastados. A metodologia foi aplicada a duas partes do processo: no teste elétrico dos preservativos para verificação de existência de não conformidades no produto, e, no processo manual de desenrolamento, para quando um determinado lote não aprovado em testes de laboratório é rejeitado e submetido novamente ao teste elétrico. Por meio da ferramenta DMAIC, reconhecida em todo o mundo como o meio de se estruturar os projetos de melhoria na busca do padrão Seis Sigma, são definidos objetivos de melhoria, medição do sistema existente, análise do sistema medido, melhoria do sistema e controle do novo sistema. A solução emprega automação com apoio de dispositivos eletropneumáticos que se mostram eficientes do ponto de vista operacional, de custo e energético. A automatização do processo eliminou por completo o surgimento de novos casos de Lesão por Esforço Repetitivo e, ainda, proporcionou aumento de produtividade, diminuiu a área de estocagem e reduziu a quantidade de horas extras.

Palavras-chave: Seis Sigma, Automação, Lesões por Esforços Repetitivos

## **ABSTRACT**

The main objective of this work was the development and implantation of improvements in industrial process to manufacture preservatives using the Six-Sigma methodology. The motivation was the increasing number of employees that were withdrawn and reallocated due to Repetitive Strain Injury (RSI), because, further permanent damages caused to the employees, there are existing costs associated with the substitution of workers, training, overtime, employee recovery, and salaries paid to withdrawn workers. The methodology was applied to two parts of the process: the electric test of the preservatives for verification of non-compliances in the product, and, in the manual unbind process, when a certain package unapproved in lab tests, is rejected and required to have another electrical test. Using the DMAIC methodology, recognized in the whole world as the way of structure the projects of improvement according to Six-Sigma, are defined the improvements' objectives, measuring of the existing system, analysis of the measured system, improvement of the system and control of the new system. The solution uses automation with support of electro pneumatics devices that are operational, cost and energetic efficiency. The automation of this process completely eliminated the appearance of new Repetitive Strain Injury cases, and, still provided increased productivity, reduced storage area and reduced overtime.

**Key Words:** 6-Sigma, Automation, Repetitive Strain Injury

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama em blocos de um sistema automático .....	16
Figura 2 Arquitetura básica de um CLP .....	18
Figura 3 Exemplo de programa em lógica Ladder .....	19
Figura 4 Exemplo de programa em Blocos de Funções .....	20
Figura 5 Esquema elétrico de ligação em um CLP.....	21
Figura 6 Lógica de Intertravamento .....	22
Figura 7 Lógica de Retenção .....	22
Figura 8 Programa de Intertravamento com Retenção .....	23
Figura 9 Programa em Ladder com Temporização .....	24
Figura 10 Gráfico de eventos dos temporizadores .....	24
Figura 11 Representação dos tipos de cilindros pneumáticos .....	28
Figura 12 Número de posições das Válvulas Direcionais .....	29
Figura 13 Direção de fluxo das Válvulas Direcionais .....	29
Figura 14 Passagem bloqueada nos orifícios das Válvulas Direcionais .....	30
Figura 15 Escape não provido para conexão (não canalizado ou livre) .....	30
Figura 16 Escape provido para conexão (canalizado) .....	30
Figura 17 Válvula 5/2 com identificação nos orifícios.....	31
Figura 18 Acionamentos para Válvulas Direcionais .....	33
Figura 19 Cilindro pneumático com amortecimento e sensor de posicionamento magnético .....	34
Figura 20 Sensor Óptico por Barreira de Luz.....	35
Figura 21 Sensor Óptico por Difusão .....	36
Figura 22 Sensor óptico por reflexão.....	37
Figura 23 Os níveis de defeitos para os devidos níveis sigma (Fonte: Rath & Strong, 2001) .....	50
Figura 24 Representação das fases do DMAIC .....	53
Figura 25 Saída do primeiro banho e entrada na primeira estufa .....	57
Figura 26 Retirada do preservativo do molde por jato de água .....	58
Figura 27 Fases de teste para a aprovação do preservativo .....	59
Figura 28 Colocação manual do preservativo no molde .....	59
Figura 29 Teste elétrico automático 30 preservativos testados por minuto .....	60
Figura 30 Preservativos com furo.....	61
Figura 31 Processo de desenrolar preservativos manualmente .....	62
Figura 32 Processo de Lubrificação e Selagem do preservativo .....	63
Figura 33 Principais Bloqueios.....	64
Figura 34 Sistema automático para desenrolar preservativos .....	66
Figura 35 Circuito Eletropneumático da máquina de desenrolar preservativos .....	67
Figura 36 Ciclo de eventos da máquina de desenrolar preservativos .....	67
Figura 37 Dispositivo eletropneumático destacando os sensores ópticos .....	68
Figura 38 Colocação manual do preservativo no molde e alimentação manual do preservativo na máquina através de um duto de vácuo .....	68
Figura 39 Conjunto de colocação Automático do Preservativo no Molde .....	70
Figura 40 Ciclo de eventos estágio 1 .....	71
Figura 41 Estágios 3 e 4 do teste elétrico .....	72
Figura 42 Circuito pneumático do conjunto da garra .....	74

Figura 43 Circuito pneumático do conjunto do molde .....	75
Figura 44 Circuito elétrico dos motores e eletroválvulas do conjunto do manipululo ....	76
Figura 45 Circuito elétrico de ligação no CLP .....	77
Figura 46 Programa em Ladder do conjunto da garra .....	78
Figura 47 Programa em Ladder do pino posicionador .....	79
Figura 48 Programa em Ladder do cilindro angulador.....	80
Figura 49 Programa em Ladder do cilindro guia .....	80
Figura 50 Programa em Ladder das garras dos moldes.....	81
Figura 51 Programa em Ladder do estágio 3.....	82
Figura 52 Programa em Ladder que determina se o preservativo esta ou não aprovado .....	83
Figura 53 Programa em Ladder dos estágios 4 e 5.....	84

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	APRESENTAÇÃO	11
1.2	OBJETIVO	12
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
2.1	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	14
2.1.1	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	17
2.1.2	PNEUMÁTICA	24
2.1.3	SENSOR DE PRESENÇA	33
2.2	LER – LESÃO POR ESFORÇO REPETITIVO	37
2.2.1	EVOLUÇÃO HISTÓRICA	39
2.2.2	DETERMINAÇÃO E CAUSALIDADE	41
2.2.3	INVISIBILIDADE DAS LER / DORT	42
2.2.4	QUANTO CUSTA A LER / DORT	44
2.3	A ESTRATÉGIA SEIS SIGMA	45
2.3.1	HISTÓRICO SEIS SIGMA	47
2.3.2	REDUÇÃO DE DESPERDÍCIOS	51
2.3.3	O SEIS SIGMA APLICADO	52
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>55</b>
3.1	FASE “DEFINIR”	55
3.1.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS PRESERVATIVOS	55
3.1.2	PROCESSO DE APROVAÇÃO DO PRODUTO	58
3.1.3	PROCESSO DE RETRABALHO DOS PRESERVATIVOS	61
3.1.4	PROCESSO DE SELAGEM E EMPA COTAMENTO	62
3.1.5	O PROBLEMA A SER SOLUCIONADO	63
3.2	FASE “MEDIR”	63
3.3	FASE “ANALISAR”	64
3.4	FASE “IMPLEMENTAR”	65
3.4.1	AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENROLAR PRESERVATIVOS	66
3.4.2	AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE COLOCAÇÃO DO PRESERVATIVO NO MOLDE	68
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>RESULTADOS E CALCULO DO RETORNO DO INVESTIMENTO</b>	<b>85</b>
4.1	RESULTADOS	85
4.2	PROCESSO DE DESENROLAR PRESERVATIVOS	86
4.3	PROCESSO DE COLOCAÇÃO DO PRESERVATIVO NO MOLDE	87
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>		<b>89</b>

# CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

A automação possibilita a melhoria da qualidade do produto final e a redução dos tempos de processos, melhorando assim a produtividade. Além dessas características, a automação pode gerar redução de gastos com funcionários acidentados aumentando o nível de segurança das máquinas, substituir o homem em áreas insalubres e reduzir, nesses casos, os recursos gastos com a recuperação da saúde dos funcionários.

Com a competição cada vez mais acirrada pela globalização da economia mundial, nenhum empresário pode deixar de levar em conta este problema, pois a elevação de custos leva a uma redução na produtividade. Para Coutinho (1992), nem sempre os fatos são tão evidentes, e em especial dentro de cada empresa, tomadas isoladamente, em meio às crises que exigem ser administradas a cada dia. No Brasil porém, é estarrecedor descobrir que as empresas estão gastando R\$ 12,5 bilhões por ano apenas com os acidentes de trabalho e doenças profissionais que poderiam ser evitadas. (O'NEILL,2007)

Na medida em que a informatização e o ritmo da competição avançam, e com o conseqüente aumento do estresse, até o escritório tornou-se palco de riscos à saúde do trabalhador, em níveis antes comuns apenas na presença de maquinaria pesada. As Lesões por Esforços Repetitivos (LER), já constituem hoje segundo O'Neill (2007) apud Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS), a segunda maior causa de afastamento de trabalhadores. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), um em cada 100 trabalhadores do Sudeste

brasileiro é portador de LER. De acordo com O'Neill (2003) somente no primeiro ano de afastamento, cada funcionário vitimado pela LER acarreta para a empresa, em média, uma despesa de R\$ 89 mil, entre encargos sociais e pagamento de substituto temporário.

Nesse contexto, este trabalho demonstrou que a automação industrial constituiu-se em uma ótima solução para áreas onde funcionários apresentam sintomas de LER. Por meio da metodologia DMAIC foram identificados os pontos a serem automatizados em uma linha de produção de preservativos, para melhorar o índice Sigma do processo.

Foram aplicadas neste trabalho de automatização industrial diversas técnicas como a utilização de um controlador lógico programável, atuadores eletropneumáticos, sensores e intertravamento elétrico.

O processo de controle de qualidade dos preservativos antes de ser automatizado causava graves lesões nos operadores devido a esforços repetitivos, e necessitava de uma área para estocagem de lotes de produtos que deveriam ser retrabalhados. Com a automatização do processo, foram solucionados esses dois problemas com um investimento que foi pago em pouco tempo devido à economia produzida.

## **1.2 Objetivo**

Este trabalho teve por objetivo desenvolver e implantar automação industrial, utilizando CLP, eletropneumática e intertravamento elétrico seguindo a orientação da metodologia Seis Sigma, que ajudou a identificar os pontos que precisavam ser melhorados, por meio da ferramenta DMAIC para implantação da automação industrial, em um processo causador de LER em seus funcionários, levando muitos a precisarem ser afastados para tratamento médico e, ainda, eliminar área de estocagem de produtos a serem retrabalhados.

### **1.3 Organização do Trabalho**

No Capítulo 1 são apresentados a introdução, o objetivo do trabalho e os impactos econômicos devido às doenças profissionais como a LER, e às tecnologias que podem ser utilizadas para automatização de áreas insalubres, liberando o homem dessas atividades.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica e a fundamentação em automação industrial, também o resumo sobre a evolução histórica e os impactos que a LER causa em seus portadores e, finalmente, demonstra uma definição da estratégia Seis Sigma para redução de desperdícios.

No Capítulo 3 é apresentada a implementação das quatro primeiras fases do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar) no processo de fabricação de preservativos.

O Capítulo 4 apresenta a implementação da última fase do DMAIC, o “Controlar”, demonstrando os cálculos de retorno do investimento, e os demais resultados alcançados com a implantação do projeto.

O Capítulo 5 fala sobre as conclusões do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Automação Industrial**

Para Ferreira (2004), “automático” significa: “que se move, regula e opera por si mesmo”, e “automação” significa: “sistema automático de controle pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções sem a interferência do homem”.

No que concorda Silva (2007), onde defende que o termo automação é empregado, atualmente, para definir o processo de inovação tecnológica de base. É com este significado que se nomeiam, por exemplo, os processos de automação bancária ou automação industrial, traduzindo a utilização da informática nesses setores. O significado do termo é no entanto, bem mais amplo. Ele refere-se a todo instrumento ou objeto que funcione sem a intervenção humana, podendo ser aplicado a qualquer tipo de máquina ou artefato que opere desse modo.

Já para Silveira (2007), pode-se dizer que automação industrial é oferecer e gerenciar soluções, pois ela sai do nível de chão de fábrica para voltar seu foco para o gerenciamento da informação. Apesar da diferença sutil entre os termos, é importante salientar a existência de dois termos muito difundidos popularmente: automatização e automação.

O termo automatização difundiu-se desde a construção das primeiras máquinas e consolidou-se com a Revolução Industrial; portanto, automatização está indissolivelmente ligada à sugestão de movimento automático, repetitivo, mecânico e é sinônimo de mecanização, então reproduz ação. Caso se entenda que tal mecanização implica somente em uma ação cega, sem

correção, tem-se um sistema no qual a saída independe da entrada, ou seja, não existe uma relação entre o valor desejado para um sistema e o valor recebido por este, por meio da variável responsável por sua atuação. Diz-se que esse tipo de controle se dá por malha aberta. Neste caso, o sistema terá sempre o mesmo comportamento esperando, pois ele é determinado por leis físicas indissolúvelmente associadas ao hardware utilizado. Este hardware pode ser de natureza mecânica, elétrica, térmica, hidráulica, eletrônica ou outra.

Segundo Groove (1987) os sistemas de produção automáticos podem ser divididos em três grupos:

a) **Automação Fixa:** que constitui em estações de trabalho especializadas em uma determinada tarefa, específica para um determinado tipo de produto. Tal processo é utilizado quando o volume de produção é muito elevado, porém, quando a vida útil de um produto é comprometida, a máquina especializada torna-se ultrapassada. Ex: fabricação de parafusos Allen.

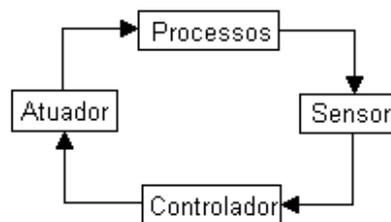
b) **Automação Programada:** utilizada em máquinas que podem ser programadas para usinarem vários tipos de peças sem que haja a necessidade de se interromper a produção para isto. Ex: centro de usinagem de peças e os Controles Numéricos Computadorizados – CNC.

c) **Automação Flexível:** combina características da automação programada e da fixa, em que a flexibilidade deve-se ao fato de vários tipos de produto serem fabricados, mas em sistema de batelada, ou seja, produz várias unidades de um determinado produto, em alta velocidade como no sistema de Automação Fixa, entretanto é possível produzir outros tipos de produtos, como na automação programada, entretanto, é necessário preparar o maquinário para este outro tipo de peça. Ex: uma prensa onde é possível trocar o tipo para estampar vários tipos de peças.

A automação é um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais constroem-se sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima, pelo uso de informação corretiva mais apropriada para a execução da ação. Esta é uma característica de sistema em malha fechada,

conhecidos como sistema de realimentação, ou seja: aquele que mantém uma relação expressa entre o valor de saída em relação ao da entrada de referência do processo. Essa relação entrada/saída serve para corrigir eventuais valores na saída que estejam fora dos valores desejados. Para tanto, são utilizados controladores que, por meio da execução algorítmica de um programa ou circuito eletrônico, comparam o valor atual desejado, efetuando o cálculo para ajuste e correção. O valor desejado também é conhecido na literatura inglesa como Setpoint.

Um sistema automático funcionando em malha fechada deve conter três componentes básicos como demonstrado na Figura 1.



**Figura 1 Diagrama em blocos de um sistema automático**

Sensor, para Fialho (2006), é definido como sendo um dispositivo sensível a um fenômeno físico, tais como: temperatura, luz, pressão, entre outros. Por meio de uma destas sensibilidades, os sensores enviam um sinal, que podem ser um simples abrir e fechar de contatos (do tipo On / Off ou Discreto), ou podem ser do tipo proporcional em que o sensor envia um sinal de tensão (0 a 10V) ou corrente (4 a 10mA) proporcional à grandeza medida.

Já atuadores, para Natale (2007), são dispositivos a serem acionados para executarem uma determinada força de deslocamento ou outra ação física, definida pelo sistema controlador por meio de uma ação de controle (maneira pela qual o controlador produz o sinal de controle). Podem ser magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos ou de acionamento misto. Como por

exemplo, temos: válvulas e cilindros pneumáticos, válvulas proporcionais, motores, aquecedores, entre outros.

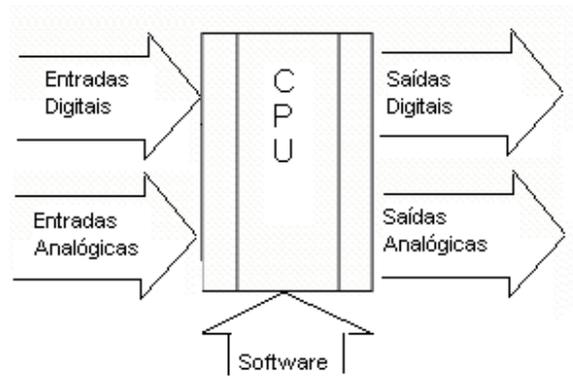
O controlador, para Giorgini (2007), pode ser um intertravamento elétrico, uma placa eletrônica, ou um computador industrial preparado para trabalhar em ambientes agressivos onde o equipamento estará sujeito a poeira, vibrações e variações de temperatura. O controlador recebe os sinais enviados pelos sensores que informam o estado atual do processo, este ao receber estas informações envia sinais aos atuadores para que estes possam agir no processo.

### **2.1.1 Controlador Lógico Programável**

Para Giorgini (2007) existem vários tipos de controladores, mas o mais utilizado é o PLC (*Program Logic Control*), ou em português CLP (Controlador Lógico Programável).

A CPU (*Central Processing Unit*, ou Unidade Central de Processamento), de um CLP, compreende os elementos que formam a “inteligência” do sistema: O Processador e o Sistema de Memória por meio do Programa de Execução (desenvolvido pelo fabricante) interpretam e executam o programa de aplicação (desenvolvido pelo usuário), e gerenciam todo o sistema. Os circuitos auxiliares de controle atuam sobre os barramentos de dados (*data bus*) de endereços (*address bus*) e de controle (*control bus*), conforme solicitado pelo processador, de forma similar a um sistema convencional baseado em microprocessador.

Na Figura 2, é apresentado a arquitetura básica de um CLP:



**Figura 2** Arquitetura básica de um CLP

**Entradas Digitais:** São entradas que recebem sinais que assumem apenas 2 níveis, 0 e 1, 0v ou 5v, 0v ou 24v, 0v ou 220v. Estes sinais podem vir de chaves fim de curso, botões de painéis elétricos, sensores do tipo *ON/OFF*, etc.

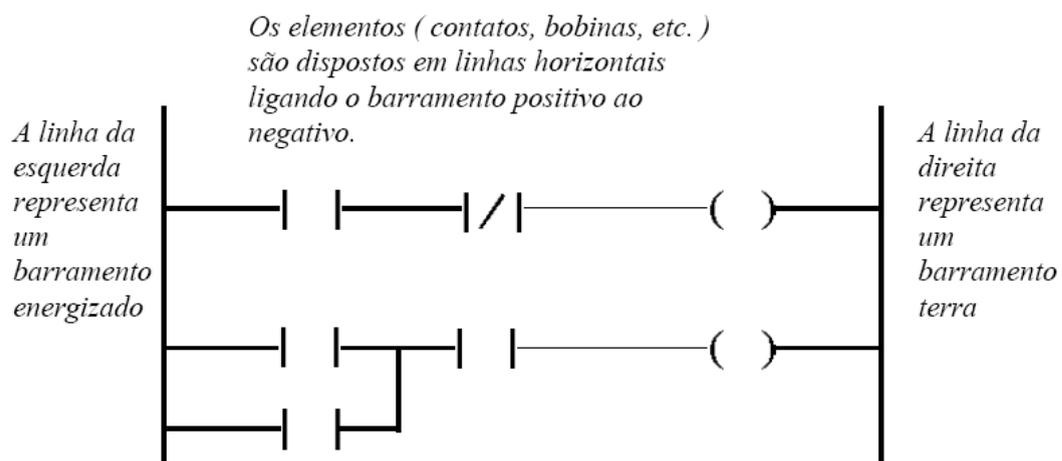
**Entradas Analógicas:** São entradas que recebem sinais que podem assumir vários valores dentro de uma faixa determinada de tensão ou controle. Estes sinais podem vir de sensores de temperatura, velocidade, nível, e que sejam proporcionais, ou seja, enviam um sinal que varia de 0v a 10v. Por exemplo, informar a temperatura exata do processo naquele instante.

**Saídas Digitais:** São saídas que enviam sinais que podem assumir apenas 2 níveis de tensão ou corrente. Podem ser utilizadas para acionar um motor, uma bomba, etc.

**Saídas Analógicas:** São saídas que enviam sinais que podem assumir vários níveis de tensão dentro de uma determinada faixa, por exemplo 0v a 10v. Podem ser utilizados para controlar a velocidade do motor à abertura de uma válvula proporcional, etc.

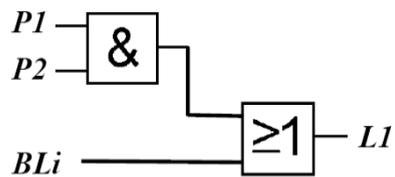
**Software:** Existem vários fabricantes de PLC, e cada um tem o seu próprio software com suas particularidades. Existem vários fabricantes e cada um utiliza seu próprio software para programá-lo. Segundo Dall'Amico (2003) existem três tipos de linguagens para os CLPs:

a) **Ladder ou Linguagem de Contatos:** mesmo tendo sido a primeira linguagem destinada especificamente à programação de CLPs, a Linguagem Ladder mantém-se ainda como a mais utilizada, estando presente em todos os PLCs disponíveis no mercado. Por ser uma linguagem gráfica, baseada em símbolos semelhantes aos encontrados nos esquemas elétricos (contatos e bobinas), as possíveis diferenças existentes entre os fabricantes de CLPs, em relação à representação das instruções, são facilmente assimiladas pelos usuários, como exemplificado na Figura 3.



**Figura 3 Exemplo de programa em lógica Ladder**

b) **Bloco de Funções:** É a representação das combinações lógicas através dos Blocos de Função. A Figura 4 ilustra um programa feito em Blocos de Funções.

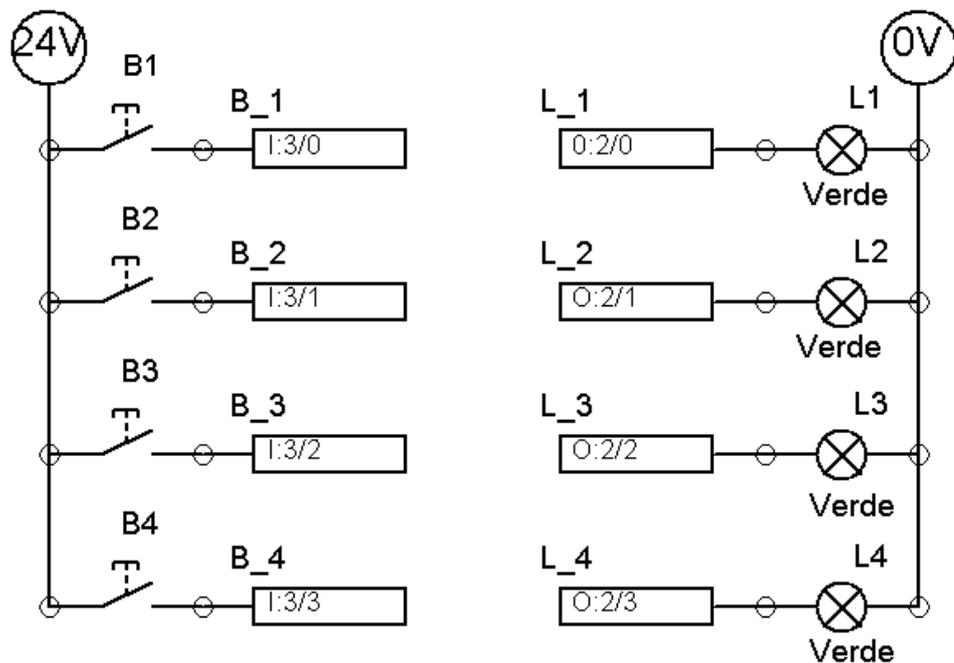


**Figura 4 Exemplo de programa em Blocos de Funções**

c) **Lista de Instruções:** É uma forma de programação semelhante à linguagem C, onde em cada linha fornece-se uma determinada instrução. Nem sempre é possível converter um programa em Lista de Instrução para Blocos de Funções ou Ladder, pois neste tipo de programas existe funções que não estão disponíveis em nenhum dos outros dois tipos de programas, entretanto o inverso sempre seja possível.

#### **Esquema Elétrico**

O esquema elétrico informar graficamente o que está ligado em cada entrada e em cada saída do CLP. Na Figura 5, tem-se várias chaves ligadas nas entradas digitais (que poderiam ser sensores do tipo ON/OFF termostatos ou pressostatos), e lâmpadas ligadas nas saídas digitais (que poderiam ser motores, bombas, travas).

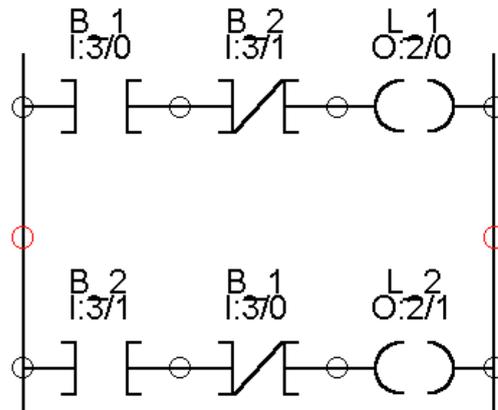


**Figura 5 Esquema elétrico de ligação em um CLP**

Dizemos que uma determinada entrada está atuada, quando o componente ligado a ela permite que a tensão de 24V chegue até esta entrada, e que uma determinada saída está atuada quando esta saída libera ou permite que se aplique 24V para alimentar o que estiver ligado a ela .

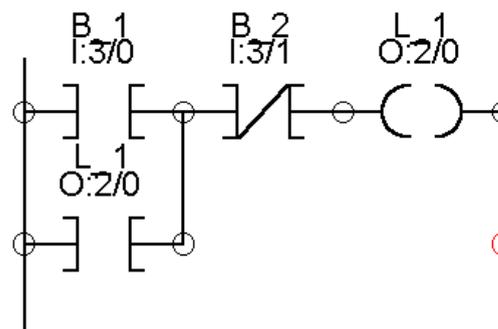
### Lógica Ladder

Com a linguagem de programação Ladder, é possível fazer várias lógicas para controlar um sistema automatizado, o programa da figura 6, por exemplo, se B1 for pressionado L1 acende e impede que L2 seja aceso, e se B2 for pressionado L2 acende e impede que L1 seja aceso, se as duas chaves forem pressionadas ao mesmo tempo nenhuma das lâmpadas ficarão acesas, esta lógica é chamada de Intertravamento.



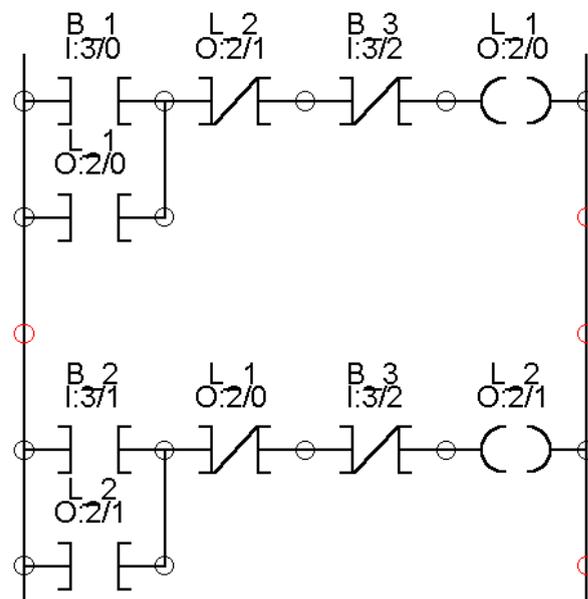
**Figura 6 Lógica de Intertravamento**

O programa da Figura 7, é uma lógica chamada de Retenção ou Selo e tem a função de manter ou reter a saída O:2/0 acionada mesmo depois que a entrada I:3/0, que determinou que esta saída ficasse atuada, seja desligada. A lâmpada L1 será acesa quando o botão B1 for pressionado, e permanecerá acesa mesmo que o botão B1 seja solto, e só irá apagar quando o botão B2 for pressionado. Esta lógica pode também ser utilizada como uma memória, pois se a lâmpada L1 está acesa, está gravado nesta lógica a informação que em algum lugar do passado o botão B1 foi pressionado.



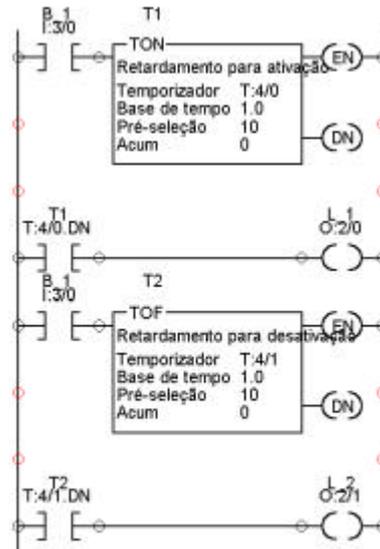
**Figura 7 Lógica de Retenção**

Já o programa da Figura 8, é uma lógica de Intertravamento com Retenção, se o botão B1 for pressionado, L1 acende e permanece acesa mesmo que B1 seja solto. L1 só irá apagar quando o botão B3 for pressionado, ao mesmo tempo o contato normalmente fechado de C1 na segunda linha impede que L2 seja acesa junto com L1. Neste caso, se os dois botões forem pressionados juntos, irá acender a lâmpada referente ao botão que for pressionado primeiro.

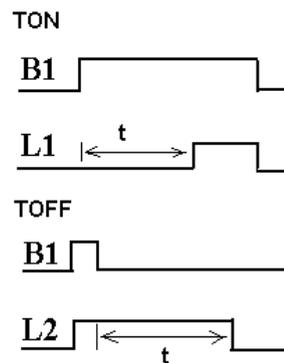


**Figura 8 Programa de Intertravamento com Retenção**

O programa da Figura 9 tem 2 blocos com a função de temporização. O primeiro é um temporizador do tipo TON, ou seja, conta um tempo para mudar de estado os contatos associados a ele, neste caso L1 só irá acender 10 segundos após B1 ser pressionado. No segundo bloco tem-se um temporizador do tipo TOF, e neste caso, quando o B1 for pressionado L2 acende imediatamente, e só apagará após 10 segundos que o botão b1 for solto. Na Figura 10 é apresentado o gráfico de eventos dos dois tipos de temporizadores.



**Figura 9 Programa em Ladder com Temporização**



**Figura 10 Gráfico de eventos dos temporizadores**

### 2.1.2 Pneumática

O termo pneumática é derivado do grego Pneumos ou Pneuma (respiração, sopro) e é definido como a parte da Física que se ocupa da dinâmica e dos fenômenos físicos relacionados com os gases ou vácuo. É também o estudo da conversão da energia pneumática em energia mecânica, através dos respectivos elementos de trabalho, Parker (2000).

Durante um longo período, o desenvolvimento da energia pneumática sofreu paralisação, renascendo apenas nos séculos XVI e XVII, com as descobertas dos grandes pensadores e cientistas como Galileu, Otto Von Guericke, Robert Boyle, Bacon e outros, que passaram a observar as leis naturais sobre compressão e expansão dos gases. Leibinz, Huyghens, Papin e Newcomem são considerados os pais da Física Experimental, sendo que os dois últimos consideravam a pressão atmosférica como uma força enorme contra o vácuo efetivo, o que era objeto das Ciências Naturais, Filosóficas e da Especulação Teológica desde Aristóteles até o final da época Escolástica. Encerrando esse período, encontra-se Evangelista Torricelli, o inventor do barômetro, um tubo de mercúrio para medir a pressão atmosférica. No decorrer dos séculos, desenvolveram-se várias maneiras de aplicação do ar, com o aprimoramento da técnica e novas descobertas. Assim, foram surgindo os mais extraordinários conhecimentos físicos, bem como alguns instrumentos.

Um longo caminho foi percorrido, das máquinas impulsionadas por ar comprimido na Alexandria aos engenhos pneumo-eletrônicos de nossos dias. Portanto, o homem sempre tentou aprisionar esta força para colocá-la a seu serviço, com um único objetivo: controlá-la e fazê-la trabalhar quando necessário.

Atualmente, o controle do ar suplanta os melhores graus da eficiência, executando operações sem fadiga, economizando tempo, ferramentas e materiais, além de fornecer segurança ao trabalho.

### **Vantagens e Desvantagens do emprego da Pneumática**

#### **Vantagens:**

- 1) Incremento da produção com investimento relativamente pequeno.

2) Redução dos custos operacionais: a rapidez nos movimentos pneumáticos e a liberação do operário (homem) de operações repetitiva possibilitam o aumento do ritmo de trabalho, aumento de produtividade e, portanto, um menor custo operacional.

3) Robustez dos componentes pneumáticos: a robustez inerente aos controles pneumáticos torna-os relativamente insensíveis a vibrações e golpes, permitindo que ações mecânicas do próprio processo sirvam de sinal para as diversas seqüências de operação; são de fácil manutenção.

4) Facilidade de implantação: pequenas modificações nas máquinas convencionais, aliadas à disponibilidade de ar comprimido, são os requisitos necessários para implantação dos controles pneumáticos.

5) Resistência a ambientes hostis: poeira, atmosfera corrosiva, oscilações de temperatura, umidade, submersão em líquidos raramente prejudicam os componentes pneumáticos, quando projetados para essa finalidade.

6) Simplicidade de manipulação: os controles pneumáticos não necessitam de operários especializados para sua manipulação.

7) Segurança: como os equipamentos pneumáticos envolvem sempre pressões moderadas, tornam-se seguros contra possíveis acidentes, quer no pessoal, quer no próprio equipamento, além de evitarem problemas de explosão.

8) Redução do número de acidentes: a fadiga é um dos principais fatores que favorecem acidentes; a implantação de controles pneumáticos reduz sua incidência (liberação de operações repetitivas).

**Desvantagens:**

1) O ar comprimido necessita de uma boa preparação para realizar o trabalho proposto: remoção de impurezas, eliminação de umidade para evitar corrosão nos equipamentos, engates ou travamentos e maiores desgastes nas partes móveis do sistema.

2) Os componentes pneumáticos são normalmente projetados e utilizados a uma pressão máxima de 1723,6 kPa. Portanto, as forças envolvidas são pequenas se comparadas a outros sistemas. Assim, não é conveniente o uso de controles pneumáticos em operação de extrusão de metais. Provavelmente, o seu uso é vantajoso para recolher ou transportar as barras extrudadas.

3) Velocidades muito baixas são difíceis de ser obtidas com o ar comprimido devido às suas propriedades físicas. Neste caso, recorre-se a sistemas mistos (hidráulicos e pneumáticos).

4) O ar é um fluido altamente compressível, portanto, é impossível se obterem paradas intermediárias e velocidades uniformes. O ar comprimido é um poluidor sonoro quando são efetuadas exaustões para a atmosfera. Esta poluição pode ser evitada com o uso de silenciadores nos orifícios de escape.

**Conversores**

É necessário dispor de um dispositivo que converta em trabalho a energia contida no ar comprimido. Os conversores de energia são os dispositivos utilizados para tal fim.

Num circuito qualquer, o conversor é ligado mecanicamente à carga, assim ao ser influenciado pelo ar comprimido, sua energia é convertida em força ou torque, que é transferido para a carga.

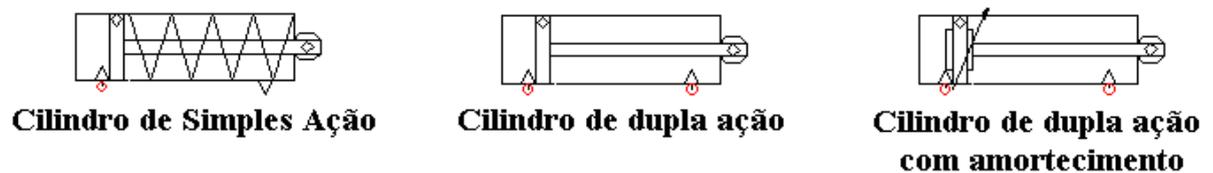
Os conversores de energia estão divididos em três grupos:

- Os que produzem movimentos rotativos: convertem energia pneumática em energia mecânica, através de momento torsor contínuo.

- Os que produzem movimentos oscilantes: convertem energia pneumática em energia mecânica, através de momento torsor limitado por um determinado número de graus.

- Os que produzem movimentos lineares: são constituídos de componentes que convertem a energia pneumática em movimento linear ou angular. São representados pelos Cilindros Pneumáticos. Dependendo da natureza dos movimentos, velocidade, força, curso, haverá um mais adequado para a função.

Os cilindros se diferenciam entre si por detalhes construtivos, em função de suas características de funcionamento e utilização. Basicamente, existem dois tipos de cilindros: *Simple Efeito ou Simple Ação* e *Duplo Efeito ou Dupla Ação*, com e sem amortecimento, as respectivas simbologias são representadas na Figura 11.



**Figura 11 Representação dos tipos de cilindros pneumáticos**

### **Válvulas de Controle Direcional**

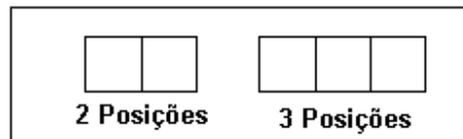
Têm por função orientar a direção que o fluxo de ar deve seguir, a fim de realizar um trabalho proposto.

### **Número de Posições**

É a quantidade de manobras distintas que uma válvula direcional pode executar ou permanecer sob a ação de seu acionamento.

Nestas condições, a torneira, que é uma válvula, tem duas posições: ora permite passagem de água, ora não permite.

Segundo as normas do CETOP - Comitê Europeu de Transmissão Óleo – Hidráulica e Pneumática, e da ISO - Organização Internacional de Normalização, as válvulas direcionais são sempre representadas por um retângulo, conforme a Figura 12. Este retângulo é dividido em quadrados. O número de quadrados representados na simbologia é igual ao número de posições da válvula, representando a quantidade de movimentos que executa através de acionamentos.



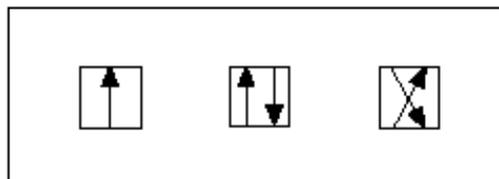
**Figura 12 Número de posições das Válvulas Direcionais**

### **Número de Vias**

É o número de conexões de trabalho que a válvula possui, é considerada como vias a conexão de entrada de pressão, conexões de utilização e as de escape.

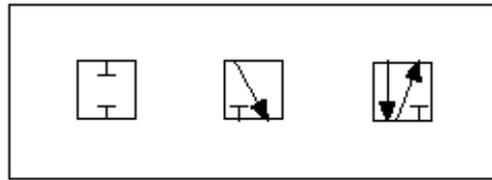
### **Direção de Fluxo**

Nos quadros representativos das posições, encontram-se símbolos distintos, as setas da Figura 13, indicam a interligação interna das conexões.



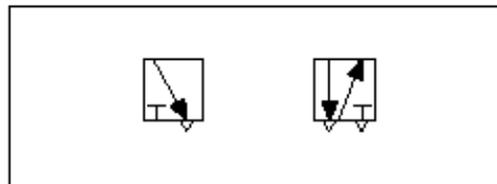
**Figura 13 Direção de fluxo das Válvulas Direcionais**

Já a simbologia demonstrada na Figura 14, que parece um “ T ”, ilustra um bloqueio a passagem de ar.

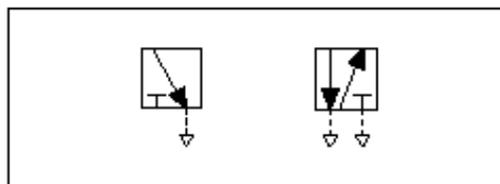


**Figura 14** Passagem bloqueada nos orifícios das Válvulas Direcionais

As Figuras 15 e 16, demonstram a simbologia de escape ou alívio de ar, que pode ser canalizado ou não. A vantagem de se utilizar válvulas direcionais com escape canalizado é com relação à diminuição de ruídos no local de trabalho.



**Figura 15** Escape não provido para conexão (não canalizado ou livre)



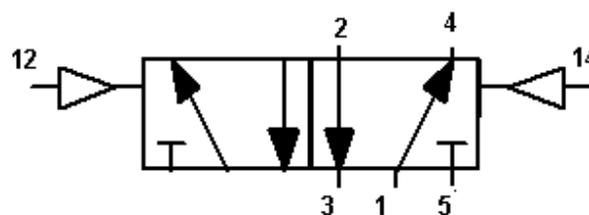
**Figura 16** Escape provido para conexão (canalizado)

Uma regra prática para a determinação do número de vias consiste em separar um dos quadrados (posição) e verificar quantas vezes o(s) símbolo(s) interno(s) toca(m) os lados do quadro, obtendo-se, assim, o número de orifícios e em correspondência o número de vias.

Preferencialmente, os pontos de conexão deverão ser contados no quadro da posição inicial.

### **IDENTIFICAÇÃO DOS ORIFÍCIOS DA VÁLVULA DIRECIONAL**

As identificações dos orifícios de uma válvula pneumática, reguladores, filtros etc., têm apresentado uma grande diversificação de indústria para indústria, sendo que cada produtor adota seu próprio método, não havendo a preocupação de utilizar uma padronização universal. Em 1976, o CETOP – Comitê Europeu de Transmissão Óleo-Hidráulica e Pneumática, propôs um método universal para a identificação dos orifícios aos fabricantes deste tipo de equipamento. O código, apresentado pelo CETOP, vem sendo estudado para que se torne uma norma universal através da Organização Internacional de Normalização - ISO. A finalidade do código é fazer com que o usuário tenha uma fácil instalação dos componentes, relacionando as marcas dos orifícios no circuito com as marcas contidas nas válvulas, identificando claramente a função de cada orifício. Essa proposta é numérica, conforme mostra a figura 17.



**Figura 17 Válvula 5/2 com identificação nos orifícios**

Os Orifícios são Identificados como Segue:

**Nº 1** - alimentação: orifício de suprimento principal.

**Nº 2** - utilização, saída: orifício de aplicação em válvulas de 2/2, 3/2 e 3/3.

**Nºs 2 e 4** - utilização, saída: orifícios de aplicação em válvulas 4/2, 4/3, 5/2 e 5/3.

Nº 3 - escape ou exaustão: orifícios de liberação do ar utilizado em válvulas 3/2, 3/3, 4/2 e 4/3.

Nºs 3 e 5 - escape ou exaustão: orifício de liberação do ar utilizado em válvulas 5/2 e 5/3.

Orifício número 1 corresponde ao suprimento principal; 2 e 4 são aplicações; 3 e 5 escapes.

Orifícios de pilotagem são identificados da seguinte forma: 10, 12 e 14. Estas referências baseiam-se na identificação do orifício de alimentação 1.

Nº 10 - indica um orifício de pilotagem que, ao ser influenciado, isola, bloqueia, o orifício de alimentação.

Nº 12 - liga a alimentação 1 como orifício de utilização 2, quando ocorrer o comando.

Nº 14 - comunica a alimentação 1 com o orifício de utilização 4, quando ocorrer a pilotagem.

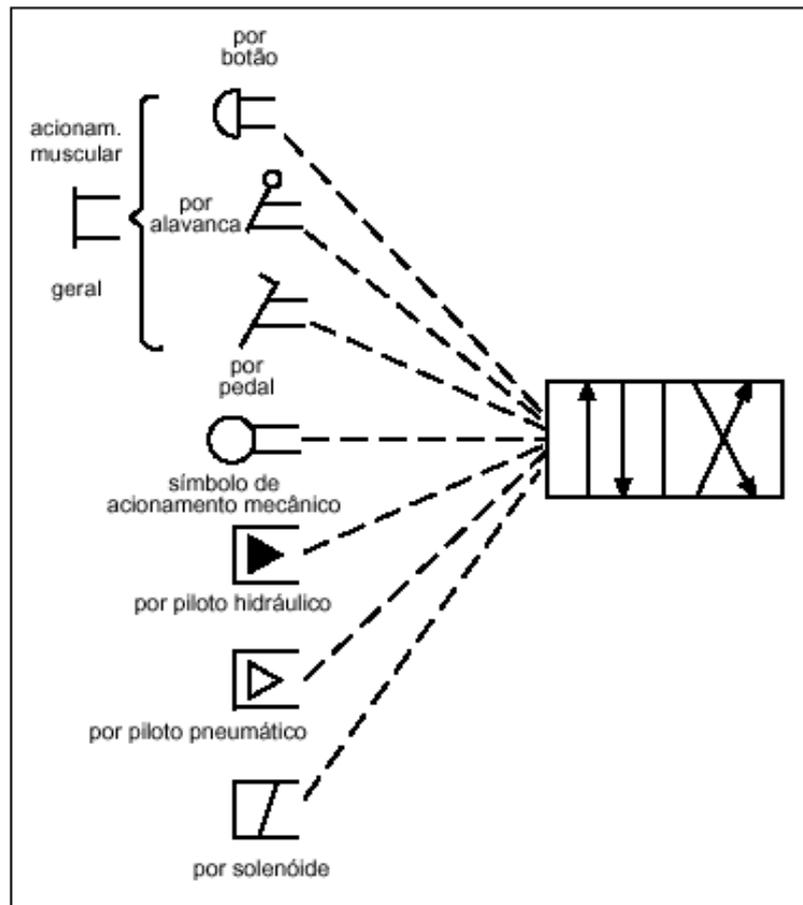
Quando a válvula assume sua posição inicial automaticamente (retorno por mola, pressão interna) não há identificação no símbolo.

## **ACIONAMENTOS OU COMANDOS**

As válvulas exigem um agente externo ou interno que desloque suas partes internas de uma posição para outra, ou seja, que altere as direções do fluxo, efetue os bloqueios e liberação de escapes.

Os tipos de acionamentos são diversificados e podem ser: musculares, mecânicos, pneumáticos, elétricos e combinados.

A Figura 18 demonstra a simbologia normalizada pela CETOP, e são escolhidos conforme a necessidade da aplicação da válvula direcional.



**Figura 18 Acionamentos para Válvulas Direcionais**

### 2.1.3 Sensor de Presença

Segundo Bega (2006), sensor é um elemento, dispositivo ou sistema que converte um mensurado físico de interesse (temperatura, pressão, presença etc.) em sinal óptico ou elétrico, de forma que possa ser transmitido ou processado.

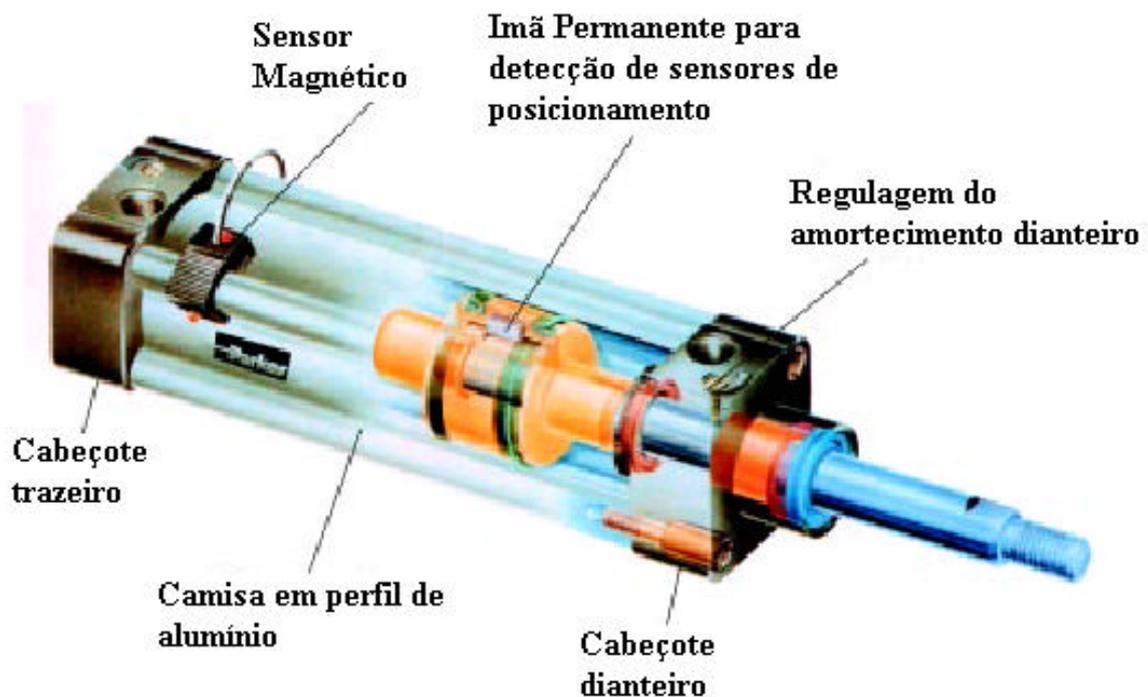
Eles podem ser discretos ou proporcionais. Os sensores discretos enviam sinais elétricos de apenas dois níveis 0 ou 1, atuado ou não atuado. Como exemplo tem-se os termostatos que possuem uma chave composta por lâminas bimetálicas que quando aquecidas tendem a envergar fazendo com que o contato da chave mude de estado. Já os sensores proporcionais enviam um

sinal elétrico, que varia dentro de uma determinada faixa de forma proporcional à grandeza física a ser medida.

### **Sensores de presença Magnéticos**

Os sensores de proximidade magnéticos, segundo Parker (2001), detectam apenas a presença de materiais metálicos e magnéticos, como no caso dos ímãs permanentes.

São utilizados com maior frequência em máquinas e equipamentos pneumáticos e montados diretamente sobre as camisas dos cilindros dotados de êmbolos magnéticos, como ilustrado na Figura 19. Toda vez que o êmbolo magnético de um cilindro se movimenta, ao passar pela região da camisa onde externamente está posicionado um sensor magnético, este é sensibilizado e emite um sinal ao circuito elétrico de comando.



**Figura 19** Cilindro pneumático com amortecimento e sensor de posicionamento magnético

### **Sensores de presença ópticos**

Segundo Festo (2007), os sensores ópticos possuem uma característica muito importante, detectam objetos metálicos e não metálicos que refletem ou interrompem seu feixe de luz que é gerado pelo sensor.

As principais vantagens dos sensores ópticos são: não é necessário o contato físico, são sensíveis a qualquer tipo de materiais, possuem um longo tempo de vida útil, possuem uma excelente repetibilidade, excelente distância sensora e tempo de resposta excelente.

Existem 3 tipos de sensores fotoelétricos: barreira de luz, difusão e refletivo.

### **Sensores ópticos por barreira de luz**

Os sensores de proximidade ópticos por barreira de luz detectam a aproximação de qualquer tipo de objeto, desde que este não seja transparente.

A distância de detecção varia de 0 a 100 mm, dependendo da luminosidade do ambiente. Normalmente, os sensores ópticos são construídos em dois corpos distintos, conforme Figura 20, sendo um emissor de luz e outro receptor. Quando um objeto se coloca entre os dois, interrompendo a propagação da luz entre eles, um sinal de saída é então enviado ao circuito elétrico de comando.



**Figura 20 Sensor Óptico por Barreira de Luz**

### Sensores ópticos por difusão

Outro tipo de sensor de proximidade óptico, muito usado na automação industrial, é o do tipo difusão, no qual emissor e receptor de luz são montados num único corpo, vide Figura 21, o que reduz espaço e facilita sua montagem entre as partes móveis dos equipamentos industriais. A distância de detecção é entretanto menor, considerando-se que a luz transmitida pelo emissor deve refletir no material a ser detectado e penetrar no receptor, o qual emitirá o sinal elétrico de saída.

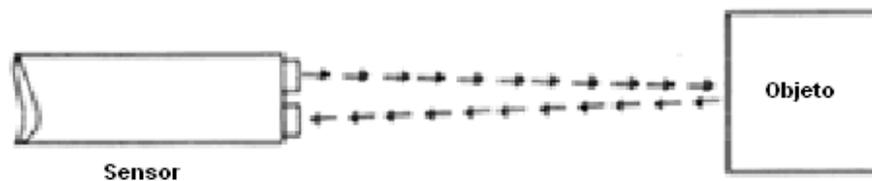


Figura 21 Sensor Óptico por Difusão

### Sensores ópticos por reflexão

Composto por um único elemento, semelhante ao sensor por difusão, conforme Figura 22, com emissor de luz e receptor no mesmo encapsulamento. Entretanto, neste caso, o feixe de luz deve ser refletido em um espelho prismático, e quando o receptor deixa de receber o feixe de luz indica presença de peça.

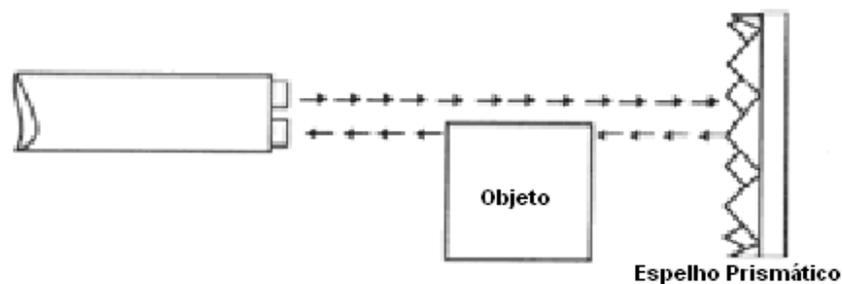


Figura 22 Sensor óptico por reflexão

## 2.2 LER – Lesão por Esforço Repetitivo

Existem várias definições de Lesões por Esforços Repetitivos (LER) ou Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT), porém o conceito básico é de que se trata de alterações e sintomas de diversos níveis de intensidade nas estruturas osteomusculares (tendões, sinovias, articulações, nervos, músculos), além de alteração do sistema modulador da dor. Esse quadro clínico é decorrente do excesso de uso do sistema osteomuscular no trabalho.

A jornalista Maria José O'Neill, durante seis anos conviveu com a LER, e durante oito pesquisou para escrever o livro “LER/DORT - O Desafio de Vencer”. Hoje, segundo ela a LER foi detectada pela primeira vez pelo médico Bernardino Ramazine em 1700 nos escribas, secretários de príncipes. As causas eram sedentarismo, pressão para não manchar os livros e movimentos repetitivos. (O'NEILL, 2003)

As lesões pluri-tissulares dos membros superiores do aparelho locomotor, atribuídas aos esforços repetitivos do trabalho, são um modo de adoecimento emblemático, revelador das contradições e patogenicidade desse novo ciclo de desenvolvimento e crise do modo de produção capitalista, que uns chamam de "capitalismo desorganizado" (OFFE, 1990); outros, de

"acumulação flexível" (Harvey, 1994); e alguns, de "terceira revolução tecnológica" ou industrial (Coutinho, 1992).

Segundo Harvey (1994), o explosivo crescimento da LER em todo o mundo industrializado e capitalista, está ajudando a derrubar o mito de um mundo sem trabalho, como resultado da automação fabril e dos serviços, posto que, ironicamente, se está adoecendo justamente as mãos, por excesso de trabalho.

Hoje, se consome muito mais massa de horas de trabalho para produzir os mesmos tipos e volumes de produtos que no final do século XIX, ou seja, se produz muitas centenas de vezes mais do que se produzia há um século, com um dispêndio proporcionalmente muito menor de energia e trabalho humanos (LANDES, 1994). A causa mais aparente do fenômeno é a incorporação crescente das tecnologias de automação que, em determinados períodos da história, tem sido tão rápida e simultânea, em vários ramos estratégicos da produção, colocando a produtividade em patamares tão mais elevados que sugere a ocorrência de verdadeiras revoluções. Sob essa ótica, estritamente tecnológica, o capitalismo industrial, nos países da Europa Central, teria passado por uma segunda revolução, entre 1870/1890 e agora estaria vivenciando uma terceira, iniciada nos anos cinqüenta e acelerada nos anos setenta do século passado. Revoluções que, com atraso, se desdobram para os países periféricos (CARDOSO, 1992).

O aumento extraordinário da produtividade industrial se deve ao crescimento do "trabalho morto" executado pelas máquinas, sempre acompanhado de novas formas organizacionais e administrativas que elevam a intensidade do trabalho, quando não a extensão da jornada, ou seja, aumentando a exploração do "trabalho vivo", dentro da lógica e necessidade incessantes do capital se multiplicar (MARX, 1975).

Não é portanto de se estranhar que, apesar do crescimento fantástico da produção e da produtividade, em todos os setores da economia, a jornada de trabalho, que na segunda década do século tinha a duração de oito horas, passados oitenta anos, não haja diminuído na maioria dos países, sem contar as habituais horas-extras, até no mais industrializado deles, os Estados Unidos (NAVARRO, 1995).

### **2.2.1 Evolução histórica**

É muito antigo o conhecimento que mesmo o trabalho leve, em ofícios ou profissões sedentárias, causa lesões ósteo-musculares. Em 1700, Ramazzini (1971) já descrevera o sofrimento dos artesãos escriturários, sinalizando a leveza e repetitividade do esforço, a sobrecarga estática das estruturas dos membros superiores e a atenção e tensão exigida. As causas imediatas e os sintomas que ele descreve são muito semelhantes aos apresentados pelos escriturários modernos, mas há muitas diferenças sociais entre o modo de adoecimento dos escribas de Ramazzini e o da sociedade de escribas que acabamos nos tornando (BRAVERMAN, 1981).

Talvez, a mais significativa das diferenças, é da LER ter sido um modo bem mais raro de adoecer, posto que, antes do século XIX, a escrita como trabalho era uma atividade de um número bem pequeno de pessoas. No primeiro ciclo da revolução industrial (1770/1870), o caráter ocupacional restrito, tanto da escrita como da LER, permaneceu, mesmo quando em 1830, a pena de ave foi substituída pela pena de aço, tornando mais veloz o trabalho de escrever e mais frequentes os casos da doença, com a expansão desse antigo ofício tornado tarefa, agora para a categoria de escriturários remunerados por horas/trabalho. Após 1870, com o desenvolvimento e expansão do telégrafo, uma nova categoria, a dos telegrafistas, passou a apresentar LER. No caso, o objeto do trabalho não mais era pena, mas o teclado (DEMBE, 1995). Tipos de esforços

parecidos vieram a vitimar, de modo semelhante, duas outras novas categorias de trabalhadores assalariados, a dos mecanógrafos/datilógrafos e a dos telefonistas. Desde 1918, na Suíça, os trabalhadores dessas duas categorias, que adoeciam de LER eram indenizados pelos empregadores (BAADER, 1960).

O trabalho mecânico, cada vez mais automatizado, progressivamente, passou a exigir maior destreza das mãos, fazendo-se acompanhar da expansão e frequência mais elevada de casos de LER, ainda assim, circunscritos a algumas categorias. Após a metade do século passado esse caráter e exigência do trabalho se fizeram universais, invadindo literalmente todas as atividades econômicas e sujeitando todas as categorias. Em nível de tecnologia, o que marca essa inflexão é a acelerada automação dos processos de produção, não mais mecânica, mas eletro-eletrônica, simbolizada pelos robôs e computadores. No mesmo passo, a LER deixou de ser um modo de adoecimento de umas poucas categorias de trabalhadores, para ser de todas e a ocorrer tão frequentemente que se tornou um grave problema do trabalho, social e de saúde pública.

O Japão, que mais precoce e velozmente avançou em termos de automação e racionalização do trabalho, foi o primeiro a se dar conta da gravidade da situação, no final da década de cinquenta. Os que historiam a evolução dos distúrbios cervico-braquiais de natureza ocupacional (OCD), nome da doença no país, afirmam que sua expansão se deveu à elevada sobrecarga do trabalho intensivo e em alta velocidade, exigida por máquinas operadas manualmente, jornadas longas de trabalho contínuo, aumento individual das tarefas que requeriam movimentação exagerada dos dedos e dos outros segmentos dos membros superiores, empobrecimento do conteúdo do trabalho, controle rígido das chefias e redução do repouso e do lazer. Segundo eles, de 1,6 milhão de trabalhadores, 10%, em média, eram sintomáticos. A maior prevalência (21%) foi encontrada em trabalhadores da linha de montagem. A terceira categoria mais atingida, com uma prevalência de 9% foi a de escriturários (NAKASEKO, 1982).

No rastro da acelerada incorporação das novas tecnologias de automação, sempre associada às novas formas de organizar o trabalho, a LER ganhou os países industrializados, com os nomes de Cumulative Trauma Disorders (CTD), Repetitive Strain Injury (RSI), Occupational Overuse Syndrome (OOS), Occupational Cervicobrachial Disorders (OCD) e Lésions Atribuibles au Travail Répétitif (LATR), respectivamente nos Estados Unidos, Austrália, Alemanha e países escandinavos e Canadá (KUORINKA, 1995).

No início dos anos 1980, a LER aportou no Brasil, com as características de uma doença do trabalho, surpreendida inicialmente em bancários que trabalhavam como digitadores em um centro de processamento de dados de um banco estatal (Rocha, 1989). Logo, ela passou a ser diagnosticada em outros centros de processamento, em escriturários/caixa de bancos, à medida que a automação chegava à periferia do sistema financeiro, e a aparecer nas indústrias - metalúrgica, química e, principalmente, na linha de montagem eletro-eletrônica, em caixas de supermercados, embaladores, etc., tornou-se na década de 1990, junto à surdez, a doença do trabalho mais notificadas ao Instituto Nacional de Seguridade Social e a qual mais demanda aos serviços de saúde do trabalhador (Nusat, 1993).

### **2.2.2 Determinação e causalidade**

Entre as significativas mudanças ocorridas com o "trabalho vivo" no atual ciclo de desenvolvimento do modo de produção capitalista, está a redução do uso da força muscular bruta, cujo dispêndio energético medido em calorias e fundamentado na fisiologia alemã do fim do século XIX, servia para estabelecer a remuneração do trabalho (Ribeiro, 1968; Ribeiro & Lacaz, 1985).

Agora, o esforço físico exigido pela automação é de outra natureza, ainda que continue comprometendo, de muitas maneiras, as várias estruturas músculo-esqueléticas dos membros

superiores. É um esforço leve, por isso, capaz de ser repetido em alta velocidade pelas mãos e dedos, ao mesmo tempo que cobra uma postura e sobrecarga estáticas dos segmentos restantes. Em uma jornada de trabalho, o gasto calórico é mínimo, apesar do uso excessivo de músculos e tendões atuar como micro-traumas cumulativos, ao longo do tempo.

A presença desses componentes que integram a materialidade do processo de trabalho atual e de outros, menos visíveis, que compõem sua organização, e a ocorrência concomitante e crescente de LER, fizeram-nas reconhecidas, em todo o mundo, como doenças associadas ao trabalho, numa relação de causa e efeito positiva e clássica. Kuorinka, Forcier & col. (1995), admitindo haver tomado como referência o modelo de Leavell & Clark (1976), explicam que seu modelo repousa sobre dois aspectos essenciais: que todos os elementos estejam ligados entre si, ensejando reações em cadeia; desse modo, qualquer modificação de um elemento, cria um novo estado que serve de base a um novo ciclo. Além disso, os fatores de ordem organizacional e psicossocial são também considerados, ou tendo influência sobre os outros - por exemplo, a organização do trabalho sobre a carga mecânica - ou tendo influências mais particulares, por exemplo, sobre o plano do mecanismo do estresse".

### **2.2.3 Invisibilidade das LER / DORT**

Como é sabido, o diagnóstico dessa doença é de difícil comprovação, causando sérios problemas para os trabalhadores acometidos pela LER, como também para os empresários. Na organização do trabalho os obstáculos são inúmeros, os empresários que optam por implementar programas de prevenção enfrentam dentro da própria empresa o preconceito de alguns chefes e de alguns trabalhadores. Os protagonistas da mudança são os empresários, os trabalhadores, e

principalmente o chefe que tem um papel fundamental na prevenção de todas as doenças do trabalho.

A nomenclatura LER é empregada pelo INSS para designar as doenças: tenossinovite, tendinite, bursite, entre outras que atingem milhares de trabalhadores, no auge do seu desempenho laboral.

A LER é um fenômeno mundial, no Japão na década de 70, na Austrália nos anos 80. Em 1998 nos Estados Unidos ocorreram 650 mil novos casos de LER, responsáveis por dois terços das ausências ao trabalho, a um custo estimado de 15 a 20 bilhões de dólares, segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde).

No Brasil, só foi reconhecido como doença ocupacional em 1987. Em 1998 a nomenclatura e a Norma do INSS foram alteradas para Distúrbios.

Segundo pesquisas realizadas para o livro “Quando a Direita Vacilou”, a maior incidência de LER atinge trabalhadores na faixa etária entre 30 a 40 anos de idade. Não significando no entanto, que não haja casos em faixas etárias diferentes das referendadas. ( O'NEILL, 1998 )

Os diversos fatores de risco são:

1) Na organização do trabalho: tarefas repetitivas e monótonas, obrigação de manter ritmo acelerado de trabalho, excesso de horas trabalhadas e ausência de pausas.

2) No ambiente de trabalho: mobiliário e equipamentos que obrigam a adoção de posturas incorretas durante a jornada.

3) Em condições ambientais impróprias: má iluminação, temperatura inadequada, ruídos e vibrações.

4) Fatores bio-psicossociais: dificuldade de relacionamentos interpessoais, pressão das chefias, cumprimento de metas para maior produtividade, "fantasma do desemprego", enfim são

múltiplos os fatores que alteram os níveis de estresse no ambiente de trabalho, levando o indivíduo a um sofrimento mental muito grande.

#### **2.2.4 Quanto custa a LER / DORT**

Para Silva (2007), com a competição cada vez mais acirrada pela globalização da economia mundial, nenhum empresário pensaria em deixar aberto um escoadouro de dinheiro, elevando seus custos e reduzindo sua produtividade. E não deixará, com certeza, se tiver consciência do fato. Mas nem sempre os fatos são tão evidentes, em especial dentro de cada empresa, tomadas isoladamente, e em meio às crises que exigem ser administradas a cada dia.

No conjunto do País, porém, é estarrecedor descobrir que as empresas estão gastando R\$ 12,5 bilhões por ano apenas com os acidentes de trabalho e doenças profissionais que poderiam ser evitados. O cálculo é do economista e professor José Pastore, da Universidade de São Paulo (USP), e toma como base o montante de R\$ 2,5 bilhões, arrecadado das empresas, que a Previdência Social gasta, por ano, nesta área. E de longa data sabe-se que a relação entre os custos segurados e não segurados, para as empresas, é de 1:4. Portanto, além do seguro pago à Previdência, as empresas perdem R\$ 10 bilhões por ano com o tempo perdido, primeiros socorros, destruição de equipamentos e materiais, interrupção da produção, substituição de trabalhadores, treinamento, horas-extras, recuperação de empregados, salários pagos a trabalhadores afastados, despesas administrativas, gastos com medicina etc. Ao afetar o custo de produção, acidentes e doenças do trabalho elevam os preços dos produtos e sabotam sua capacidade de competir.

O custo para o Brasil é ainda maior, segundo Pastore, uma vez que as pessoas atingidas e suas famílias também enfrentam despesas (e aqui não se trata da dor, das frustrações, da perda de dignidade) pelo menos iguais ao custo segurado. Assim, a conta para a sociedade, como um todo,

sobe para R\$ 15 bilhões. Mas não fica nisso, em palestra realizada na abertura da Campanha da Indústria da Prevenção de Acidentes de Trabalho em 1999, José Pastore lembra que, pela Constituição Federal, é dever do Estado prover assistência social e atendimento de saúde a todos os brasileiros, independente de estarem ou não filiados ao sistema previdenciário.

À medida que avançam a informatização e o ritmo da competição, com o conseqüente aumento do estresse, até o escritório tornou-se palco de riscos à saúde do trabalhador, em níveis antes comuns apenas na presença de maquinaria pesada. As Lesões por Esforços Repetitivos, já constituem hoje, a segunda maior causa de afastamento de trabalhadores, segundo dados oficiais do Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), um em cada 100 trabalhadores do Sudeste brasileiro é portador de LER. E, somente no primeiro ano de afastamento, cada funcionário vitimado pelas LER acarreta para a empresa, em média, uma despesa de R\$ 89 mil, entre encargos sociais e pagamento de substituto temporário.

### **2.3 A estratégia Seis Sigma**

Definir claramente o que seja a estratégia Seis Sigma pode tornar-se uma tarefa extensa se for feita uma análise da literatura sobre o assunto, visto o grande rol de definições que podem ser encontradas. Conforme relata Perez-Wilson (1998), Seis Sigma são muitas coisas: uma estatística, uma medida, uma estratégia, um objetivo, uma visão, um *benchmark*, e uma filosofia.

Todavia, o autor não concorda com outros autores que a tratam como metodologia, uma vez que o Seis Sigma é um fim e não um meio.

Já para Pande (2002), o Seis Sigma pode parecer mais uma “resposta nova em folha”, mas, pode-se observar uma diferença: o Seis Sigma não é mais um modismo do mundo dos negócios e sim, um sistema flexível para a liderança e desempenho de negócios melhores.

Contudo, mesmo sendo utilizado o termo “metodologia” oriundo da bibliografia, a sua leitura torna perceptível que Seis Sigma é empregado sempre como uma estratégia e não exatamente como uma metodologia.

Porém, cabe ressaltar que quando se fala da estratégia, segundo Rotondaro (2002), não se trata de mais um programa para cortar ou reduzir custos ou cálculos estatísticos que ninguém entende. Segundo o autor, Seis Sigma é uma filosofia de trabalho para alcançar, maximizar e manter o sucesso comercial, por meio da compreensão das necessidades do cliente.

Há de se observar que a estratégia Seis Sigma como metodologia de melhoria contínua da qualidade não apresenta grandes saltos qualitativos, utilizando-se de conceitos já desenvolvidos e utilizados em outras técnicas, mas mostra-se inovadora na medida em que integra diferentes ferramentas de forma estruturada, visando também à redução de custo (CORRÊA, 2002).

Na prática, segundo a General Eletric – GE (2003), empresa onde a metodologia está fortemente implantada, Seis Sigma é um processo altamente disciplinado que ajuda a focalizar o desenvolvimento e a entrega de produtos e serviços “quase perfeitos”.

Conforme relata Pande (2002) o Seis Sigma se baseia em muitas das idéias de gestão e melhores práticas do século passado, criando uma nova fórmula para o sucesso dos negócios no século XXI. O autor coloca ainda: “Não se trata de teoria, mas de ação”.

Seis Sigma pode ser considerada então, como uma estratégia gerencial de mudanças e enfoca principalmente a variação do resultado a que o consumidor tem acesso. Dessa forma, tem a característica de ser uma ferramenta mais quantitativa de avaliar os resultados de um processo e a sua qualidade por meio da medição do valor da variação encontrado no resultado do processo. O que o diferencia de outros programas de melhoria da qualidade é a ênfase na tomada de decisões baseadas em dados e fatos e não nas experiências individuais.

Assim, dentro deste conceito, para General Eletric (2003), a idéia central por trás de Seis Sigma é: se for possível medir quantos “defeitos” existem em um processo, também é possível otimizá-los e, chegar o mais próximo possível a “zero defeito”.

O que é ratificado por Corrêa (2002) que diz tratar-se de estabelecer, como meta de longo prazo, para cada característica do produto ou serviço, um desempenho tal que esteja sempre dentro de um intervalo de variação de mais ou menos seis Sigma ( $\sigma$ ) em torno do valor médio esperado para a característica.

Sob este prisma, Perez-Wilson (1998) coloca o Seis Sigma como medida para determinado nível de qualidade. Quanto maior o número de Sigmas dentro das especificações, melhor o nível de qualidade.

Rotondaro (2002) coloca como objetivo da metodologia conseguir a excelência na competitividade pela melhoria contínua de processos. É uma metodologia gerencial de mudanças para acelerar o aprimoramento em processos, produtos e serviços.

O conceito técnico do Seis Sigma é medir o desempenho atual e calcular quantos Sigmas existem até que ocorra a insatisfação do cliente, momento em que se estabelece a existência de um defeito. Dessa forma, um defeito é qualquer evento que não atenda os requisitos do cliente. De acordo com o padrão Seis Sigma, um processo será classificado como Seis Sigma quando não gerar mais de 3,4 dpmo (defeitos por milhão de oportunidades).

### **2.3.1 Histórico Seis Sigma**

A elaboração do método, ou a criação da estratégia ocorreu no final da década de 80, quando o engenheiro e estatístico Mikel Harry, da Motorola, iniciou estudos sobre o conceito de Deming, guru da qualidade, a respeito da variação do processo.

Ele começou orientando a sua própria empresa no estudo da variação como uma forma de melhorar o desempenho, mostrando que essas variações quando medidas estatisticamente, demonstram o desvio-padrão da média, e são representadas pela letra grega Sigma ( $\sigma$ ). Esta abordagem tornou-se o ponto de foco do esforço de qualidade da Motorola. Com o apoio do presidente da empresa, essa concepção passou a ser a forma de fazer negócios da organização.

Para Pande (2002) o que o Seis Sigma ofereceu à Motorola – apesar de hoje envolver muito mais – foi uma maneira simples e consistente de acompanhamento do desempenho e sua comparação com as exigências do cliente, que seria a própria medida Sigma além de uma meta ambiciosa de qualidade, praticamente perfeita que seria o objetivo Seis Sigma.

O enfoque sobre a análise da variação em todas as atividades da empresa a direcionou para a ênfase no conceito de melhoria contínua e a Motorola passou a adotar uma meta de Seis Sigma em todas as suas ações, o que equivaleria mais ou menos à perfeição quase que total, uma vez que se trata de um processo de produção com apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

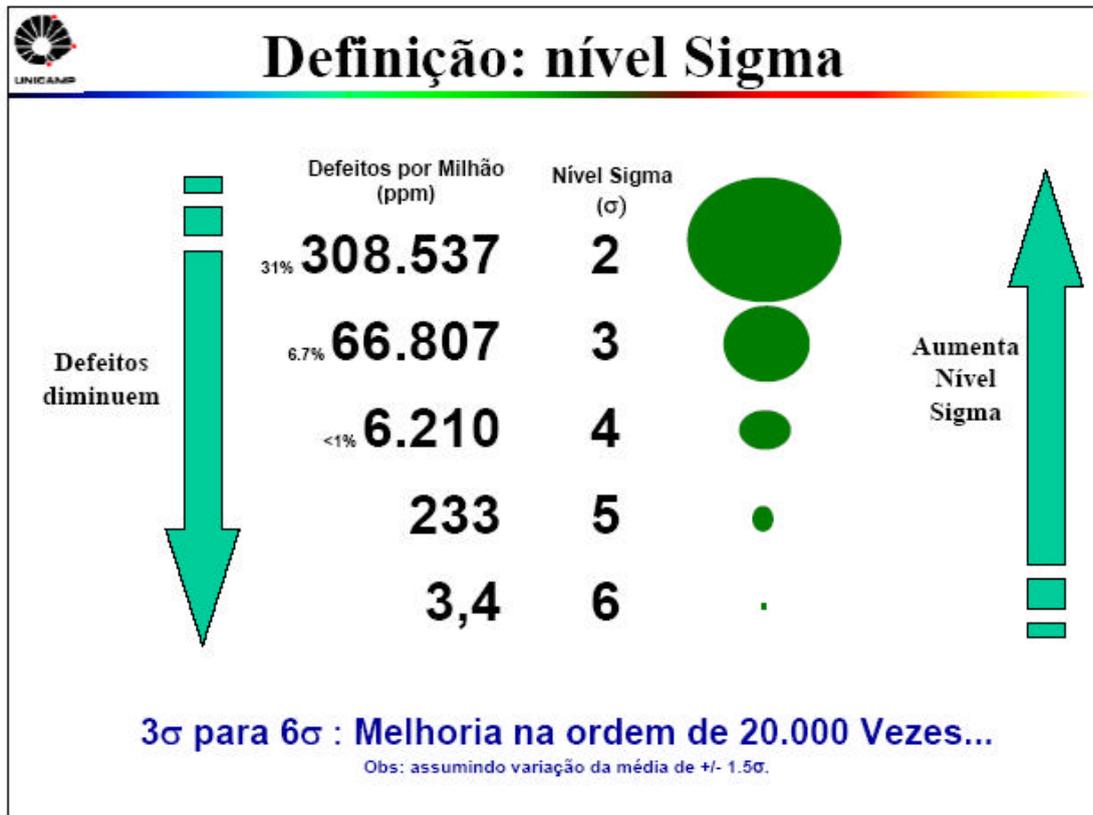
Hoje, vê-se centenas de projetos Seis Sigma em andamento nas organizações ao redor do mundo incluindo o desenvolvimento de novos produtos, maior rapidez de comunicação, resposta imediata ao cliente, entre outros. (PANDE, 2002).

Por que Seis Sigma? Segundo Thomas Pyzdek (2003) para a Motorola, empresa que deu origem ao programa, a resposta a essa questão foi simples: sobrevivência. A Motorola chegou ao 6-Sigma porque estava ficando para trás em relação aos concorrentes estrangeiros, que conseguiam vender produtos de melhor qualidade a custos inferiores. Quando, na década de 1970, uma empresa japonesa assumiu o controle de uma fábrica da Motorola que produzia os televisores Quasar nos Estados Unidos, eles mudaram radicalmente a maneira de operar.

Sob administração japonesa, a fábrica logo iniciou a produção de televisores com um vigésimo do número de defeitos da época em que era gerenciada pela Motorola. E conseguiu isso com a mesma força de trabalho, a mesma tecnologia e os mesmos projetos, deixando claro que o problema era o gerenciamento em si. Até os próprios executivos da Motorola tiveram de admitir que a qualidade de seus produtos era "nojenta".

Coronado (2002) reporta que a abordagem Seis Sigma foi desenvolvida pela empresa Motorola, na década de 80, com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos eletrônicos no processo de manufatura. Seis Sigma foi apresentado como uma filosofia operando segundo os princípios da Gestão da Qualidade Total com uma intensa utilização de métodos estatísticos e ferramentas da qualidade. O objetivo do programa era desafiar o desempenho com zero defeito, melhorando a confiabilidade do produto final e a redução de perda ou sucata.

Naquela época, a Motorola fez comparações entre os resultados internos de pedidos, pagamentos de fatura e ordens de pagamento, por exemplo, com os índices de perda de bagagem aérea, de contas de restaurante e de prescrição de medicamentos. Em adição, foram pesquisadas empresas reconhecidas como de alta qualidade e níveis elevados de satisfação do cliente ("best-in-class") e comparadas com empresas de desempenho médio. Os dados das empresas médias foram desenhados num gráfico e o seu nível de falha associado a um nível sigma. As empresas médias tinham taxas de falhas numa faixa de 3.000 a 10.000 por milhão de oportunidades, o que é equivalente a um nível sigma entre 3 e 4. Os resultados das melhores empresas, as tais "best-inclass", foram próximos a 3,4 falhas por milhão, que é equivalente ao nível de Seis Sigma. A partir desta constatação, a Motorola estabeleceu como meta de qualidade a obtenção do Seis Sigma em 1993. A Figura 23 demonstra os níveis Sigma e quantos defeitos por oportunidade de milhão (DPMO) são aceitos em cada nível. Foi então que muitas outras empresas começaram a aplicar o Seis Sigma com o objetivo de reduzir custos, como a Allied Signal e Dow Chemical.



**Figura 23** Os níveis de defeitos para os devidos níveis sigma (Fonte: Rath & Strong, 2001)

A popularização do Seis Sigma ocorreu na década de 90 e teve como líder John F. Welch, então presidente da empresa General Electric (GE). É interessante ressaltar que, até conhecer a metodologia, ele desacreditava em qualquer programa de qualidade, pois dizia ser apenas custo e não investimento. Para Welch, Seis Sigma tem sido "a mais importante iniciativa que a General Electric já empreendeu". Tanto que a partir de 1995, todo processo da GE, desde turbinas de aviões até as empresas financeiras, trabalharam para obter o desempenho Seis Sigma.

### 2.3.2 Redução de Desperdícios

Uma preocupação permanente na estratégia Seis Sigma é a redução da quantidade de desperdício, que tecnicamente é denominada de “defeitos”. Para Blauth (2003) na estratégia Seis Sigma, defeito é qualquer desvio de uma característica que gere insatisfação ao cliente (externo ou interno).

Ressalte-se que uma empresa que utiliza máquinas sofisticadas, desenvolve processos inteiramente automatizados e fabrica produtos de altíssima precisão e sem defeitos não necessariamente representa uma organização Seis Sigma, se nessa empresa existirem outros processos ineficientes e pessoas descomprometidas. Uma instituição, porém, pode iniciar a estratégia Seis Sigma melhorando alguns processos e convivendo com outros que optar por manter sem alterações devido a limitações de recursos.

Ao adotar o Seis Sigma, uma instituição não precisa obrigatoriamente utilizar esse nome. Muitas instituições adotaram a estratégia Seis Sigma e a chamaram por nomes próprios. Porém, mais importante que o nome é o resultado alcançado.

As empresas acumulam experiências de programas de qualidade que tiveram resultados por algum tempo e que foram perdendo seu brilho inicial, caindo na vala comum dos métodos milagrosos com resultados fantasiosos. Os dirigentes dessas empresas querem saber “o que deixaram de fazer” ou “o que fizeram de errado nos programas de qualidade anteriores”, a fim de evitar novos investimentos com resultados decepcionantes. Essa condição é praticamente um pré-requisito para dar início a novas iniciativas.

Bhote (1992), um dos mentores do programa Seis Sigma da Motorola, afirmou que uma empresa está em condições de obter sucesso com essa estratégia, quando todos os seus processos alcançarem o que ele qualifica como “qualidade classe mundial”. Foram agrupados os processos

em dez áreas distintas: administração, organização, avaliação, ferramentas, clientes, projeto, fornecedores, produção, serviço de apoio e pessoal. Mas não basta alcançar a classe mundial em uma área e descuidar de outra.

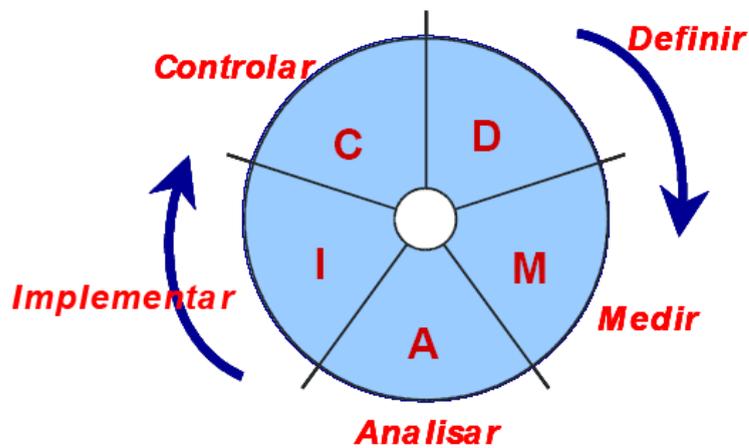
A criação dos projetos de melhoria deve ser realizada com base no impacto sobre os negócios e quando isso é feito adequadamente cria-se um clima dentro da empresa em que todo o trabalho dedicado à melhoria da qualidade faz parte das responsabilidades normais de todos (ECKES, 2001).

### **2.3.3 O Seis Sigma aplicado**

“O Seis Sigma é uma medida de qualidade e eficiência, mas, além disso, é uma medida de excelência”. Por isso, para Perez-Wilson (1998) embarcar no programa Seis Sigma significa ter um foco comum na excelência em toda a organização.

Para Pande (2002), diversos são os motivos que podem ser considerados quando a organização decide fazer a implantação da estratégia Seis Sigma em sua estrutura: o Seis Sigma gera o sucesso sustentado, determina uma meta de desempenho para todos, intensifica o valor para os clientes, acelera a taxa de melhoria, promove aprendizagem e polinização cruzada e executa mudanças estratégicas.

Para Rotondaro (2002), Seis Sigma é uma metodologia rigorosa que utiliza ferramentas e métodos estatísticos para definir, medir, analisar, incorporar e controlar os processos ou produtos existentes, com a finalidade de alcançar etapas ótimas e que gerará um ciclo de melhoria contínua, conforme mostra a Figura 24.



**Figura 24** Representação das fases do DMAIC

A implementação do Seis Sigma pode ser feita por meio de diversas ferramentas, que de um modo geral são aplicadas dentro de um mesmo modelo, conhecido como DMAIC (Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar), que significa, segundo Pyzdek (2000):

D- *Define* – Definição dos objetivos da atividade de melhoria. É a parte do projeto onde o grupo tem que definir o motivo pelo qual o projeto será levado adiante;

M – *Measure* – Medição do sistema existente. Servirá para dar a visão de como está o processo e indicar pontos de oportunidade de melhoria;

A – *Analyse* – Análise do sistema medido. É a fase onde se analisa o processo atual com base nas medições realizadas;

I – *Improve* – Melhoria do sistema. Diversas ferramentas são utilizadas nesta fase com a finalidade de atacar os pontos de oportunidade de melhoria detectados e assim, tornar o processo mais eficiente;

C – *Control* – Controle do novo sistema. A fase de controle é muito importante para que o DMAIC seja visto como um ciclo, o que torna possível a sua continuidade, uma vez que ao alcançar esta fase a melhoria do processo já está instalada.

A ferramenta DMAIC, esta sim uma metodologia, é reconhecida em todo o mundo como o meio de se estruturar os projetos de melhoria na busca do padrão Seis Sigma. As empresas têm utilizado esta ferramenta como a principal estrutura para que o CEP (Controle Estatístico do Processo) determine os pontos de oportunidade de melhoria nos processos estudados e possibilitem a aplicação da estratégia com a finalidade de elevar o nível Sigma.

Para Pande (2002), o DMAIC baseia-se no ciclo original PDCA (*Plan-Do-Check-Action*). Ele é amplamente usado tanto os esforços de melhoria de processo quanto os de projeto/reprojeto de produtos ou processos.

O modelo DMAIC concentra uma série de outras ferramentas para sistematizar a definição, medição, análise, identificação e implantação de melhorias nos processos onde a variabilidade esteja presente gerando a ocorrência de defeitos no produto ou serviço recebido pelo cliente, aqui se considerando tanto o cliente final como o cliente interno do processo.

## CAPÍTULO 3 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma ferramenta do Seis Sigma: o DMAIC ( *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* ), que é um modelo simples de melhoria de desempenho .

Na fase “definir” foram analisados os processos de fabricação e aprovação do produto, na fase “medir” foram levantados os dados do processo antes da automatização, na fase “analisar” foram estudados os dados adquiridos na fase “medir” e identificadas as áreas que necessitavam ser automatizadas, na fase “implementar” é demonstrada a automatização implantada em duas etapas do processo de aprovação do produto e na fase “controlar” são apresentadas os comparativos dos dados do processo antes e depois da automatização.

### 3.1 Fase “definir”

Nessa fase é apresentado o processo de fabricação do preservativo até o teste elétrico onde todos os preservativos são testados para verificar a presença de furos. É nessa etapa de verificação de furos, que foram desenvolvidos e implantados os sistemas automáticos para liberar o homem da área insalubre.

#### 3.1.1 Processo de fabricação dos preservativos

A principal matéria prima utilizada é o látex natural de borracha proveniente da árvore chamada seringueira, planta típica de nosso país, que foi levada para países asiáticos, onde grandes esforços foram feitos para produzir látex de alta qualidade, necessário para a produção de preservativos. Hoje a indústria nacional prefere importar esse produto devido à elevada qualidade

do produto originado de países do sul da Ásia em relação ao produzido aqui no Brasil. Também são utilizados outros ingredientes químicos que são rigorosamente analisados e controlados pelo departamento de garantia da qualidade.

### **Transferência do látex**

A transferência do látex dos tambores para tanques de armazenagem é feita através de uma bomba pneumática ajustada para 100 psi. O látex é transferido dos tambores para três tanques de armazenagem com capacidade de 10.000 litros por tanque, cada tanque possui uma bomba que mantém o látex em movimento constante, para evitar coagulação (formação de borras).

### **Formulação do composto do látex**

Nessa etapa, adicionam-se produtos químicos ao látex natural para formação de ligações químicas (reação de vulcanização) que conferem maior resistência ao filme de borracha. Após esta etapa, o composto de látex está pronto para ser usado na produção de preservativos.

### **Maturação**

A mistura fica por 72 horas sendo movimentado por pás giratórias. Após este período, a mistura está pronta para ser conduzida à máquina de fabricação de preservativos. Antes disso, deverá ser filtrada para eliminar eventuais borras.

### **Processo de fabricação do preservativo**

A mistura é transportada por encanamentos até os tanques onde os moldes são mergulhados. Após serem mergulhados no primeiro banho, os moldes são transportados por um sistema de correntes e giram em torno do seu próprio eixo para evitar possíveis acúmulos da mistura. A Figura 25 mostra os moldes após o primeiro banho entrando na estufa para secagem e sendo novamente mergulhados em um segundo banho. Em seguida, são transportados girando em

torno do seu próprio eixo para o interior de uma segunda estufa, onde, na saída, o molde passa por uma escova rotativa para formação da bainha, após o que, entra no terceiro estágio de estufa.



**Figura 25 Saída do primeiro banho e entrada na primeira estufa**

### **Retirada do preservativo do molde**

Após a saída da terceira estufa os moldes são mergulhados em uma solução para facilitar a retirada do preservativo do molde, em seguida o mesmo é retirado com o uso de um jato de água, conforme ilustrado na Figura 26.

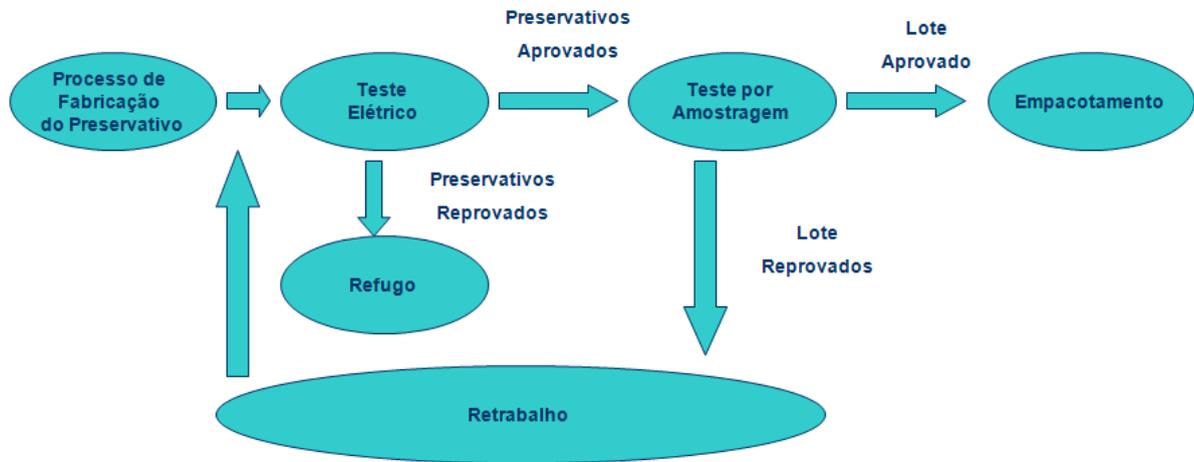


**Figura 26 Retirada do preservativo do molde por jato de água**

### **3.1.2 Processo de Aprovação do Produto**

Os preservativos após terem sido produzidos, são submetidos a um banho de água com talco, processo chamado de impregnação, para evitar colagem das paredes do preservativo. Após o processo de impregnação, os preservativos são colocados em uma secadora a 90°C por 90 minutos.

Conforme é ilustrado na Figura 27, nesta etapa da produção, os preservativos serão submetidos a dois testes: o teste elétrico e o teste por amostragem na câmara de insuflamento.



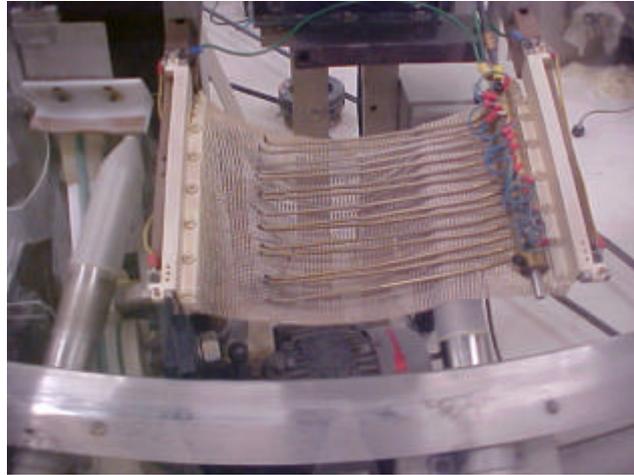
**Figura 27 Fases de teste para a aprovação do preservativo**

### **Teste Elétrico**

Os preservativos são colocados manualmente em um molde, Figura 28. O molde com o preservativo fica girando em torno do eixo, Figura 29, em contato com uma malha elétrica energizada. Se houver fuga de corrente elétrica da malha para o molde, significa que o preservativo está com furo e deve ser rejeitado.



**Figura 28 Colocação manual do preservativo no molde**



**Figura 29** Teste elétrico automático 30 preservativos testados por minuto

#### **Teste por Amostragem na Câmara de Insuflamento**

Os preservativos saem do teste elétrico e são depositados em sacos plásticos onde são estocados para serem selados (embalagem individual). Em cada saco são armazenados em torno de 5.000 preservativos. Cada lote de produção contém aproximadamente 100.000 preservativos.

Nessa etapa, os preservativos são colocados em uma câmara de insuflamento para realização de diversos testes por amostragem. De um lote de 100.000 preservativos, devem ser coletados 315 amostras para testes, atendendo à Resolução RDC nº 3 de 2002 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), com conformidade com a ISO 2859-1. Esses preservativos coletados devem suportar no mínimo 18 litros de ar e 1 psi para preservativos de espessura menor ou a 2 psi para preservativos com espessura maior.

São verificados vários itens como: bolhas sem furo, bolhas com furo, corte, batida de forma, pêndulo, acúmulo de látex, ponto fraco, impurezas, pregas, má distribuição de látex, bainha em 8, má formação da bainha, grudados e sem bainha.

Somente em caso de detecção de furo que o lote será retrabalhado. Se for detectado vazamento em um preservativo, deve ser colhido um novo lote de 315 amostras e devem ser novamente submetidos ao teste. Entretanto, se nesse primeiro lote for detectado mais do que um preservativo com furo, deve-se rejeitar o lote inteiro e ser encaminhado para retrabalho. O mesmo deve ocorrer se no segundo teste for detectado um ou mais preservativos com furo. No processo de retrabalho, os preservativos devem ser desenrolados e novamente submetidos ao teste elétrico. A Figura 30 mostra um preservativo rejeitado por furo na câmara de insuflamento.



**Figura 30 Preservativos com furo**

### **3.1.3 Processo de retrabalho dos preservativos**

O processo de retrabalho dos preservativos era executado manualmente, onde os operadores eram deslocados de outros postos de serviço da área de preservativos e às vezes até de outras áreas, onde, sentavam-se ao redor de uma mesa e desenrolavam um a um os preservativos.

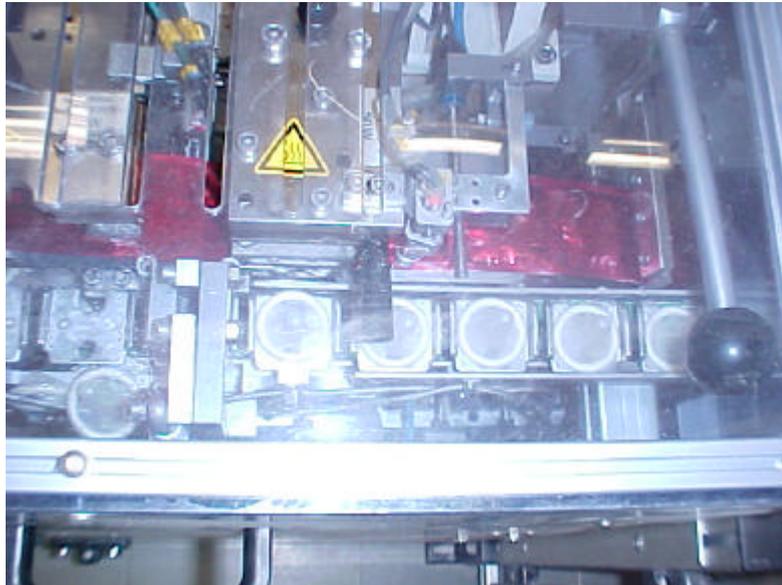


**Figura 31 Processo de desenrolar preservativos manualmente**

Conforme figura 31, o operador pega o produto no saco com mão esquerda, realizando pronação (movimento de rotação da mão em que o polegar vai colocar-se junto ao corpo) e desvio ulnar (adução), leva até a outra mão e, segurando com a mão direita, desenrola o produto. Neste caso faz extensão de punho direito e supinação (movimento de rotação do antebraço pelo qual a palma da mão torna-se superior ou anterior) e flexão de punho esquerdo. Segura o produto com a mão direita, quando juntam mais ou menos 20 produtos na mão, coloca ao lado em outro saco com o braço direito realizando abdução de ombro.

### **3.1.4 Processo de selagem e empacotamento**

Após os lotes terem sido aprovados no teste de qualidade por amostragem, os preservativos são levados ao processo de selagem onde um funcionário termina de enrolar o preservativo, pois o mesmo não sai do teste elétrico totalmente enrolado. Após estarem enrolados são introduzidos em uma esteira elétrica, Figura 32, onde são conduzidos à máquina de selagem individual do produto.



**Figura 32 Processo de Lubrificação e Selagem do preservativo**

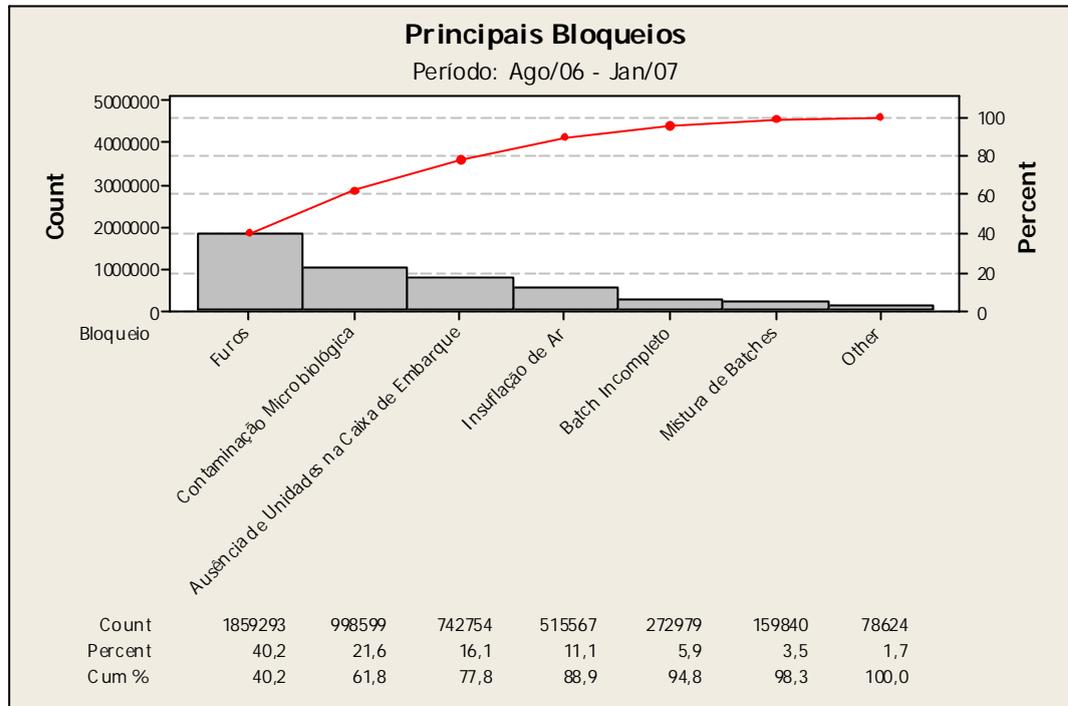
### **3.1.5 O problema a ser solucionado**

Esta área da fábrica possui 127 funcionários dos quais 17 funcionários têm processo de CAT aberta (Comunicado de Acidente de Trabalho), por terem adquirido LER, correspondendo a 13,7% dos funcionários. A empresa adota um sistema de revezamento dos postos de trabalho, onde a cada 20 minutos os funcionários trocam de função. Mesmo havendo esse revezamento, novos casos de LER continuam surgindo e diariamente vários funcionários são afastados por dores no punho e nas mãos.

## **3.2 Fase “medir”**

A empresa fabrica anualmente 100 milhões de preservativos. Em 12 meses (Abril/06 – Março/07) foram bloqueados 32 lotes por furo, significando num total de 3.244.460 unidades. Foram gastos 3.244 horas / homem para desenrolar essa recusa manualmente. A Figura 33,

mostra em ordem decrescente quais são as maiores recusas e em primeiro lugar, com 40,2% das mesmas aparece “desvio por furo”.



**Figura 33 Principais Bloqueios**

Os lotes rejeitados não podem ser retrabalhados imediatamente, o que acarreta disponibilizar uma área para que esses lotes fiquem armazenados.

A empresa tem em média três funcionários afastados por LER devido às atividades repetitivas desenvolvidas na produção, o que gera entre salários e encargos pagos a esses funcionários um prejuízo em torno de R\$ 100.000,00 por ano.

### 3.3 Fase “analisar”

Foram realizadas reuniões com a equipe da área e identificadas as etapas em que os funcionários mais reclamavam de dores, ficando constatado os focos do problema nos processos:

a) colocação do produto no molde do teste elétrico, onde o funcionário coloca 30 preservativos por hora nos moldes, ou seja, um preservativo a cada dois segundos;

b) no retrabalho dos lotes rejeitados pelo teste de qualidade feito por amostragem, normalmente esperava-se um momento favorável para interromper a produção e então reunir os funcionários em torno de uma mesa para desenrolar os preservativos manualmente;

c) no processo de lubrificação e selagem, onde o terminava-se de enrolar o produto manualmente e era introduzido em uma esteira elétrica.

Ao estudar o caso, foi observado uma relação entre as dores e o serviço repetitivo. Sabendo-se que no ambiente haviam instalações de ar comprimido disponíveis, avalia-se que a melhor opção para esse caso seria a automação pneumática. No processo de retrabalho, foi indicada a implantação de um sistema eletropneumático comandado por intertravamento elétrico, por ser um sistema que necessitaria de poucos pontos de entrada e saída. Já no processo de colocação do preservativo no molde e o enrolamento total do mesmo, optou-se pelo desenvolvimento e implantação de um novo carrossel com seis estágios totalmente controlados por CLP. Nesse caso, justificava-se o uso do CLP devido ao elevado número de entradas e saídas a serem controladas e a complexa lógica de intertravamento entre as estações.

### **3.4 Fase “implementar”**

Com base nas análises e recomendações anotadas nas fases anteriores, duas etapas do processo de controle de qualidade dos preservativos foram automatizadas, quais sejam:

- ? desenrolar produtos a serem retrabalhados;
- ? colocação do produto a ser testado no molde.

Ainda com base nas anotações mencionadas, foi desenvolvido um sistema composto por uma esteira elétrica e uma ventosa, que garanta que o produto aprovado no teste elétrico saia totalmente enrolado.

### 3.4.1 Automatização do Processo de Desenrolar Preservativos

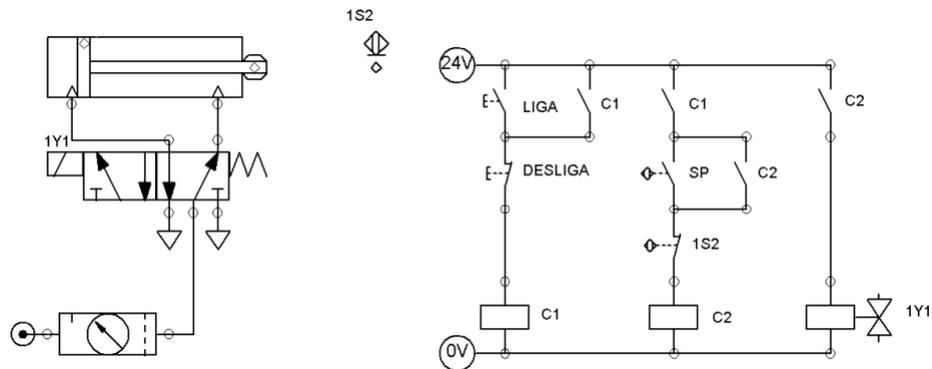
Foi desenvolvido um sistema eletropneumático que executasse a atividade de desenrolar os preservativos automaticamente sem a intervenção de mão de obra humana. Como é possível observar na Figura 34, o sistema é constituído por um cesto vibratório, onde os preservativos sobem numa espiral na lateral do cesto até chegarem a uma calha de lexan com um orifício de 20mm de diâmetro.



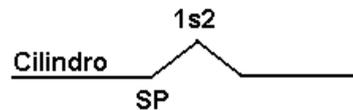
**Figura 34 Sistema automático para desenrolar preservativos**

No final da calha foi instalado um sensor de presença (SP), por barreira de luz, que ao detectar a presença do preservativo em cima do orifício, atua uma válvula 5/2 com acionamento elétrico e retorno por mola, que realiza o avanço de um cilindro pneumático de dupla ação. A haste desse cilindro irá esticar o preservativo, fazendo com que o mesmo seja desenrolado e caia

em um cesto. Ao final do curso da haste do cilindro, foi instalado outro sensor óptico 1S2, que ao detectar que o cilindro chegou ao final de curso, desatua a válvula 5/2 vias com atuador elétrico, fazendo com que o cilindro retorne a posição inicial. A Figura 35 mostra o circuito eletropneumático do sistema, e a Figura 36 ilustra o ciclo de eventos do circuito.

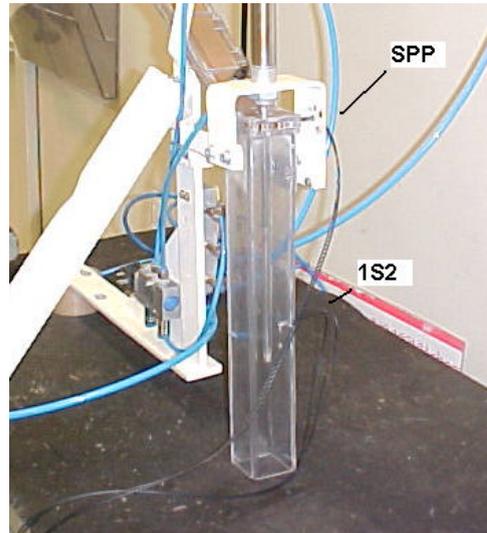


**Figura 35 Circuito Eletropneumático da máquina de desenrolar preservativos**



**Figura 36 Ciclo de eventos da máquina de desenrolar preservativos**

A Figura 37 mostra a máquina pronta com destaque para o posicionamento dos sensores na mesma para detecção da presença de preservativo a ser desenrolado (SPP) e fim de curso do cilindro para retorno automático do mesmo (1S2).



**Figura 37** Dispositivo eletropneumático destacando os sensores ópticos

### **3.4.2** Automatização do processo de colocação do preservativo no molde

A máquina que executa o teste elétrico tinha um carrossel com vários moldes, onde o operador vestia manualmente os preservativos no molde, conforme mostrado na Figura 38. Essa máquina foi automatizada utilizando-se um sistema eletropneumático, onde o operador, ao invés de vestir o preservativo no molde, apenas alimenta a máquina por um duto de vácuo que leva o preservativo para ser vestido automaticamente no molde.

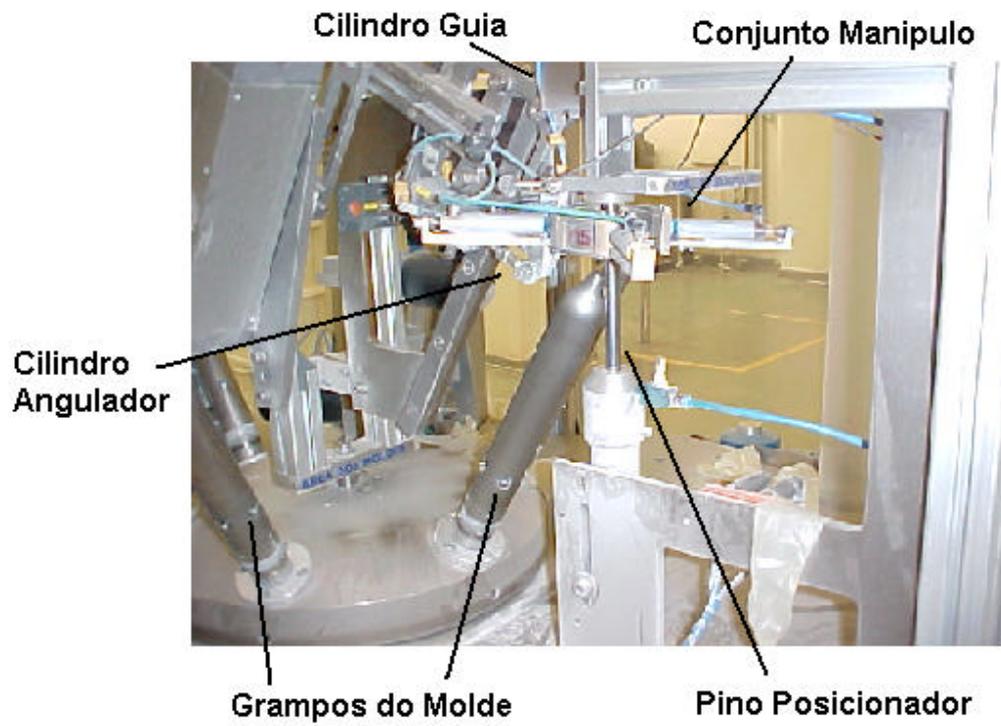


**Figura 38** Colocação manual do preservativo no molde e alimentação manual do preservativo na máquina através de um duto de vácuo

O carrossel foi trocado por outro composto de seis moldes equipados com grampos acionados por um cilindro pneumático, para prenderem o preservativo durante o teste elétrico. Assim, a máquina passou a ter seis estágios.

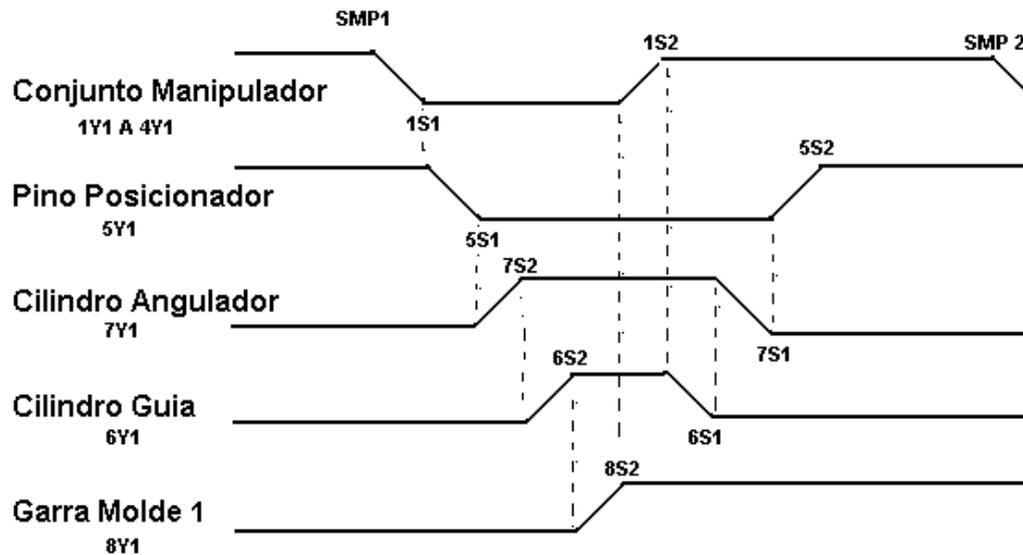
No primeiro estágio, ilustrado na Figura 39, há um pino posicionador atuado por um cilindro pneumático, que recebe o preservativo alimentado pelo operador no duto de vácuo. Um conjunto de manipulação composto por quatro grampos, onde cada grampo é comandado por um cilindro pneumático, abre a bainha do preservativo para facilitar a entrada no molde. Uma vez que o preservativo está preso, o sensor 1s1 é atuado fazendo o pino posicionador descer, permitindo a angulação da garra, feita pelo acionamento do cilindro angulador.

Quando a garra já se encontra angulada, ou seja, posicionada para vestir o preservativo no molde, fato confirmado pelo sensor 7s2, a garra desce pela ação do cilindro guia, introduzindo o preservativo no molde. Ao chegar ao fim de curso, o sensor 6s2 atua acionando o grampo do molde, posicionando-o para travar o preservativo, e o sensor de fim de curso do cilindro do grampo do molde atua (cada molde possui um cilindro equipado com sensores de fim de curso), os grampos do manipulador são desacionados, fazendo com que o preservativo fique totalmente sob o molde travado pelos grampos do molde. Nesse instante, o sensor 1s2 atua comandando o cilindro guia a retornar, quando esse chega ao seu fim de curso, o sensor 6s1 libera o cilindro de angulação, fazendo com que o manipulador volte à sua posição inicial, quando então o sensor 7s1 será atuado fazendo com que o pino posicionador volte a ser atuado, para receber outro preservativo que será colocado no próximo molde.



**Figura 39** Conjunto de colocação Automático do Preservativo no Molde

A Figura 40 mostra o ciclo de eventos do estágio 1, através desse ciclo é possível compreender a sequência de movimentos dos cilindro.

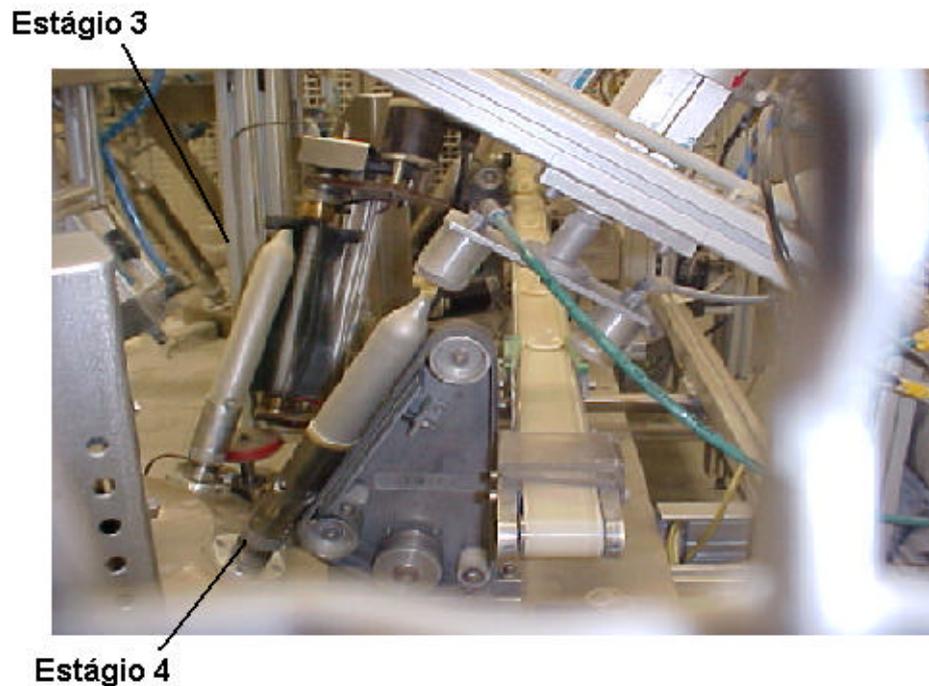


**Figura 40 Ciclo de eventos estágio 1**

No fim do segundo estágio, o molde aguarda o início do terceiro estágio, onde irá girar em torno do eixo e uma borracha condutora energizada entra em contato com o molde, se for detectada fuga de corrente, o preservativo será rejeitado. Há uma saída auxiliar do CLP, chamada de “Flag 10”, que ativada por *software* quando o molde 1 estiver no estágio 5 e o preservativo será retirado e rejeitado. Entretanto se no estágio 3 não for detectada fuga de corrente, o preservativo estará aprovado. Nesse caso, a saída auxiliar “Flag 9” é ativada para que, quando o molde 1 chegar ao estágio 4 o preservativo seja retirado com o auxílio de uma ventosa. No estágio 6, o molde aguarda para ir para o estágio 1, quando receberá um novo preservativo para ser testado.

Encontra-se no estágio 4 a modificação feita para que o preservativo seja totalmente enrolado, eliminando assim a necessidade do operador, no processo de selagem e empacotamento, para terminar de enrolar o produto. Foi desenvolvido um sistema mecânico que, com o auxílio de correias, retira o preservativo do molde, Figura 41, e uma ventosa foi instalada

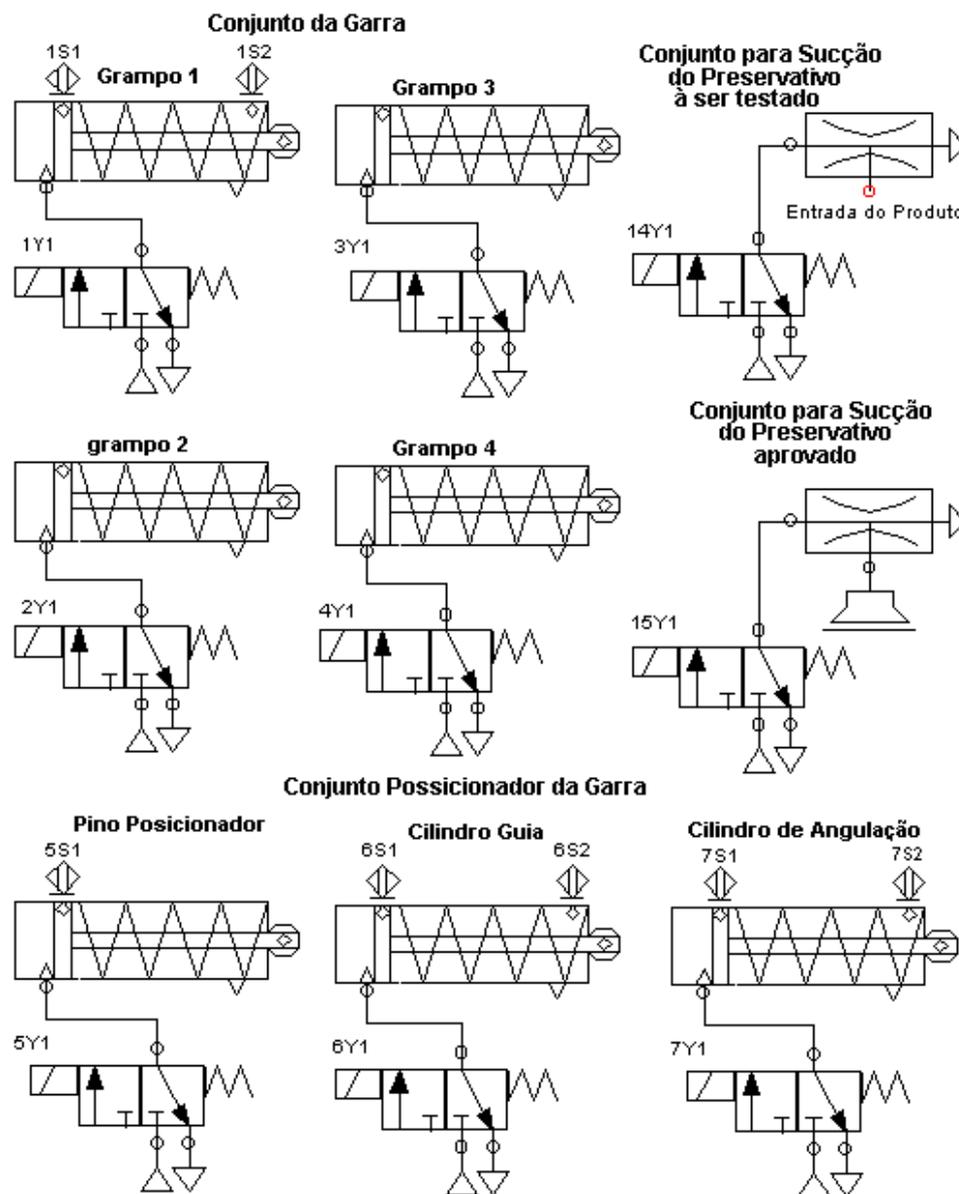
para permitir que o preservativo seja totalmente enrolado, e depois colocado em uma esteira elétrica.



**Figura 41 Estágios 3 e 4 do teste elétrico**

Na Figura 42 é apresentado o circuito pneumático da garra do manipulador, composta por quatro cilindros de simples ação comandados por quatro válvulas 5/2 vias com atuador elétrico. Quando as bobinas 1Y1 a 1Y4 são energizadas o conjunto do manipulador fecha, permitindo que o preservativo chegue até o pino posicionador, através de um duto de vácuo. Quando essas bobinas estão desenergizadas, o conjunto do manipulador abre a bainha do preservativo a ser colocado no molde. Também é apresentado o circuito pneumático do pino posicionador, do cilindro guia e do cilindro de angulação. Quando a bobina 5Y1 é energizada, o pino posicionador é expandido, estando pronto para receber o preservativo a ser testado. Já a bobina 6Y1 é responsável por atuar

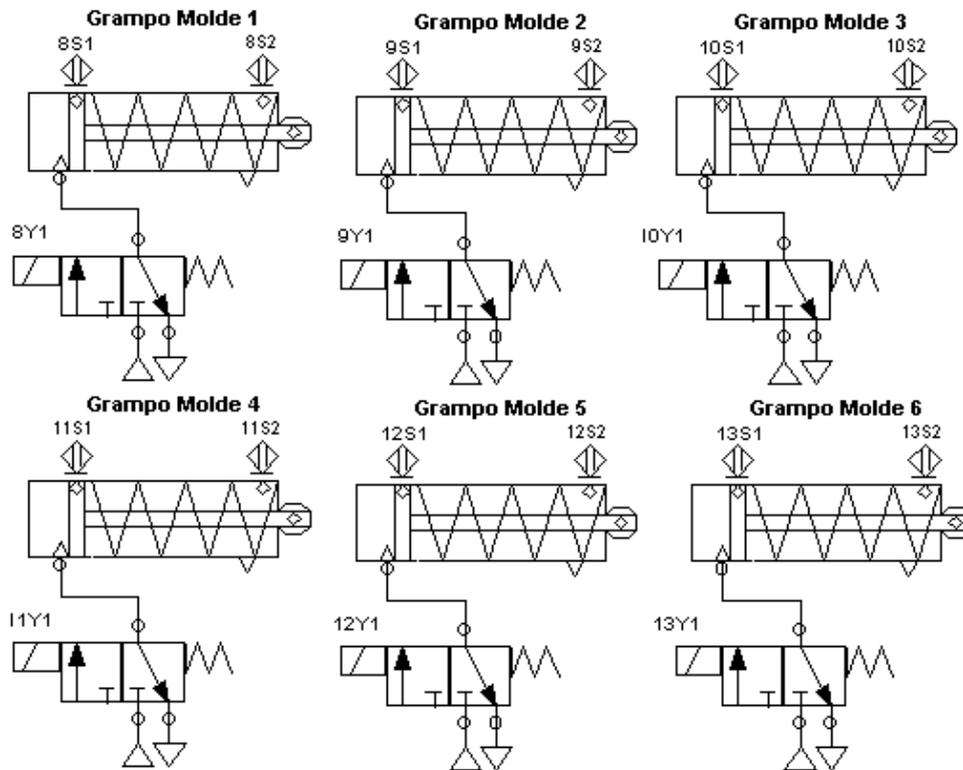
o cilindro guia. Quando essa bobina está energizada, o conjunto manipulador é levado para cima do molde. Quando fica desenergizado, o cilindro guia desce introduzindo o preservativo no molde. A bobina 7Y1 é responsável por atuar o cilindro angulador. Essa bobina energizada mantém o conjunto do manipulador na horizontal, mas quando é desenergizada o conjunto fica ligeiramente angulado para introduzir o preservativo no molde.



**Figura 42** Circuito pneumático do conjunto da garra

A Figura 43 apresenta o circuito pneumático dos moldes, onde cada molde possui um cilindro de simples ação. Quando esses cilindros são atuados liberam uma garra na base do molde, impedindo que o preservativo saia do molde durante o teste elétrico.

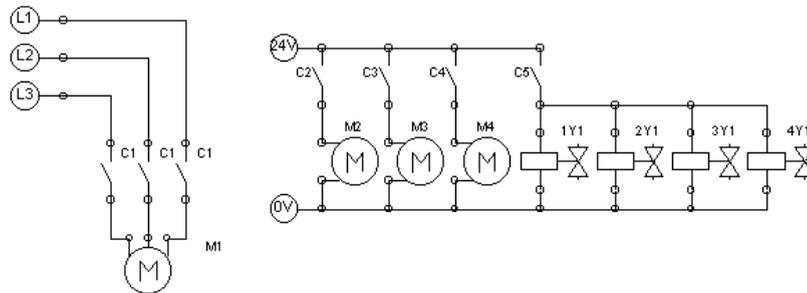
### Conjunto do Molde



**Figura 43 Circuito pneumático do conjunto do molde**

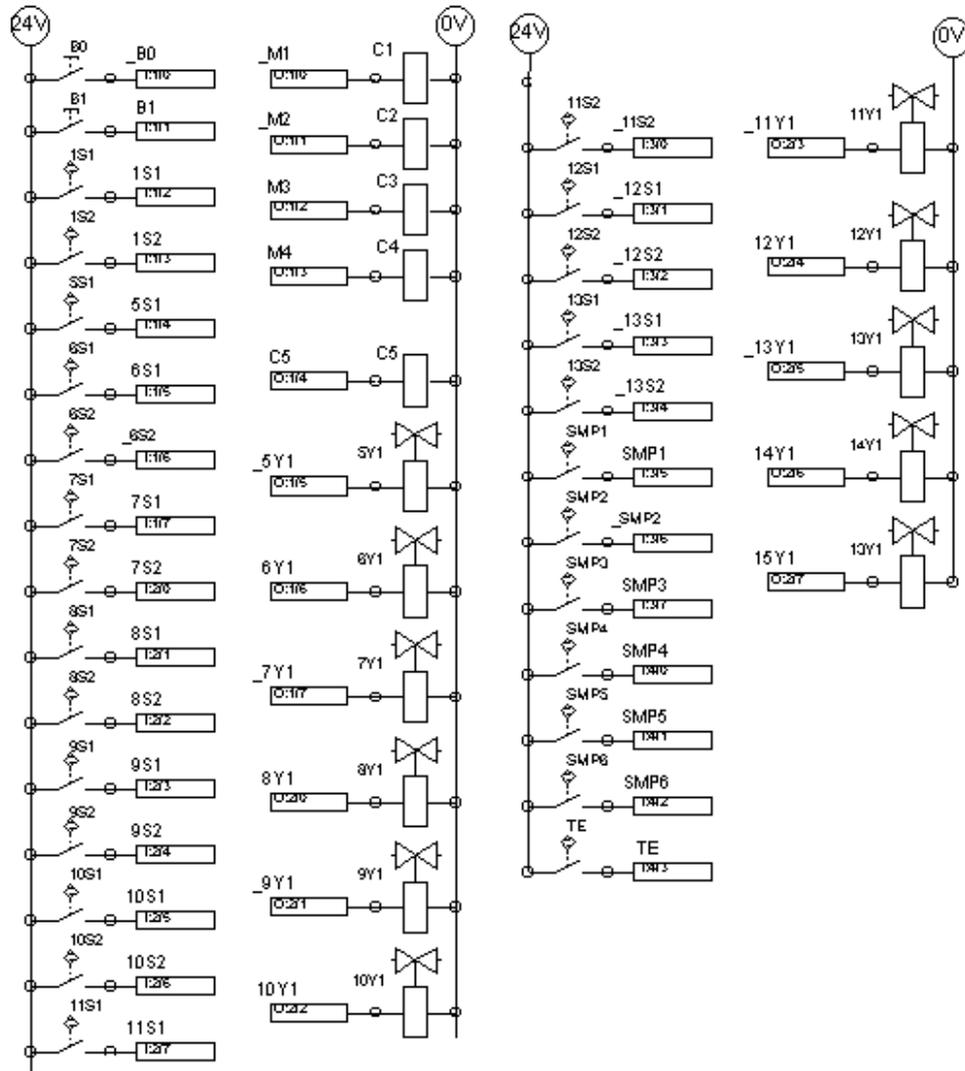
Na Figura 44 esta representado o esquema elétrico dos motores e das bobinas que controlam as garras do conjunto manipulador. O motor M1 é um motor trifásico responsável por girar o carrossel, os motores M2, M3 e M4 são motores de 24Vcc, responsáveis respectivamente pelo movimento do molde no estágio 3 onde é realizado o teste elétrico, pelo movimento da esteira no estágio 4 que retira o preservativo aprovado do molde e pelo movimento da esteira do estágio 5 onde é retirado do molde o preservativo reprovado. Cada um desses componentes é energizado pela ação de um contato de contator. O contator é um componente eletromecânico que

quando sua bobina é energizada, todos os contatos associados a ela mudam de estado. O contato NA (normalmente aberto) fecha e os contatos NF (normalmente fechados) abrem.



**Figura 44 Circuito elétrico dos motores e eletroválvulas do conjunto do manipulô**

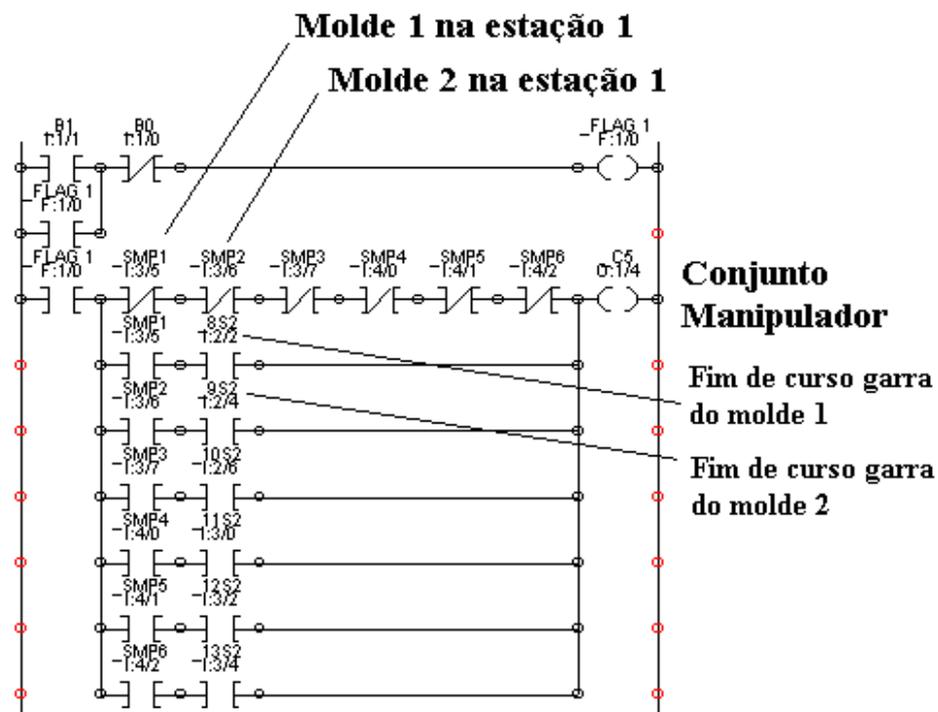
O circuito elétrico do CLP está representado na Figura 45. Esse esquema é de fundamental importância, pois ele é quem informa que componente está relacionado a cada entrada ou saída. Nas entradas, o endereço começa com a letra I de *input* e as saídas com a letra O de *output*. Para facilitar essa associação, é comum em esquemas elétricos de CLP e nos programas em Ladder, aparecerem campos de observação para associação rápida dos componentes da máquina com as entradas e saídas, como por exemplo, a entrada I:1/0 tem ligada a ela o botão B0, responsável pelo desligamento da máquina, em cima da conexão aparece B0 indicando que esta entrada está associada ao botão B0, no programa em Ladder também aparece essa observação. Isso é muito útil, pois ao analisar o programa não será necessário ficar voltando ao esquema elétrico para fazer essa associação.



**Figura 45 Circuito elétrico de ligação no CLP**

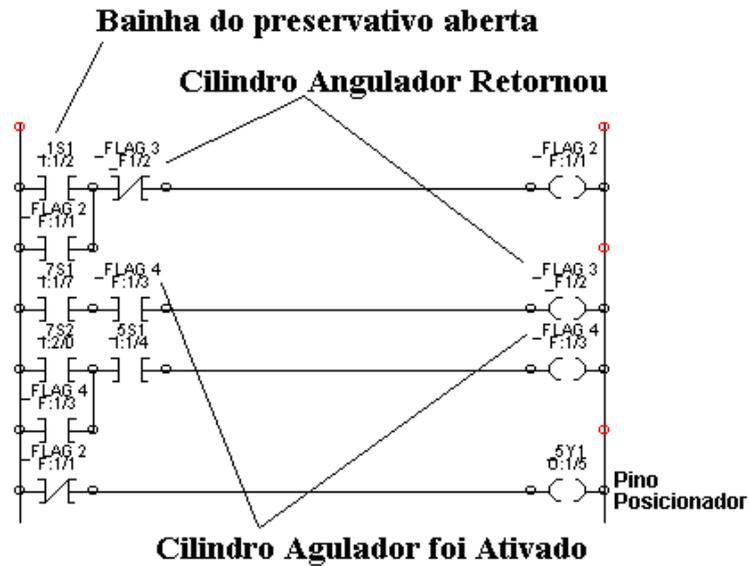
A Figura 46 apresenta o programa em Ladder para controlar as bobinas 1Y1 a 1Y4 que são comandas pelo contator C5. Quando o botão B1 é pressionado atua a “Flag 1”, uma saída auxiliar, que permanece atuada mesmo após o botão B1 ser solto, pois tem-se nesse caso um circuito com lógica de retenção. O contato da “Flag 1” dá condição de atuar a saída O:1/4 que energizará o contator C5, que, uma vez energizado, fechará a garra do conjunto do manipulador. Quando um dos moldes parar no estágio 1, essa saída será desatuada fazendo com que o conjunto

manipulador abra a bainha do preservativo. Essa saída será novamente energizada quando o sensor de fim de curso do cilindro do molde que está no estágio 1 for atuado.



**Figura 46 Programa em Ladder do conjunto da garra**

O pino posicionador inicia o ciclo atuado, Figura 47, até que o cilindro 1, um dos cilindros do conjunto manipulador, retorne atuando o sensor 1S1. Nesse momento a “Flag 2” é atuada fazendo com que a saída O:1/5 seja desatuado, que fará o cilindro do pino posicionador retornar. Esse só será atuado novamente quando o cilindro angulador voltar à posição inicial. É de fundamental importância reparar nesse caso, que o cilindro angulador, no início do ciclo, está na posição inicial. É por isso que é necessário “memorizar” na “Flag 4” que o cilindro angulador foi atuado, dessa forma é possível distinguir o estado inicial do cilindro e o final.



**Figura 47 Programa em Ladder do pino posicionador**

A Figura 48 mostra o programa em Ladder para controlar o cilindro angulador. Ele avança quando o sensor 5S1 é atuado pela ação do retorno do cilindro do pino posicionador. Nesse instante, o conjunto manipulador irá sair da posição horizontal, passando a ficar ligeiramente angulado, dando condição do cilindro guia introduzir o preservativo no molde. O cilindro angulador volta à posição inicial quando o cilindro guia tiver retornado.



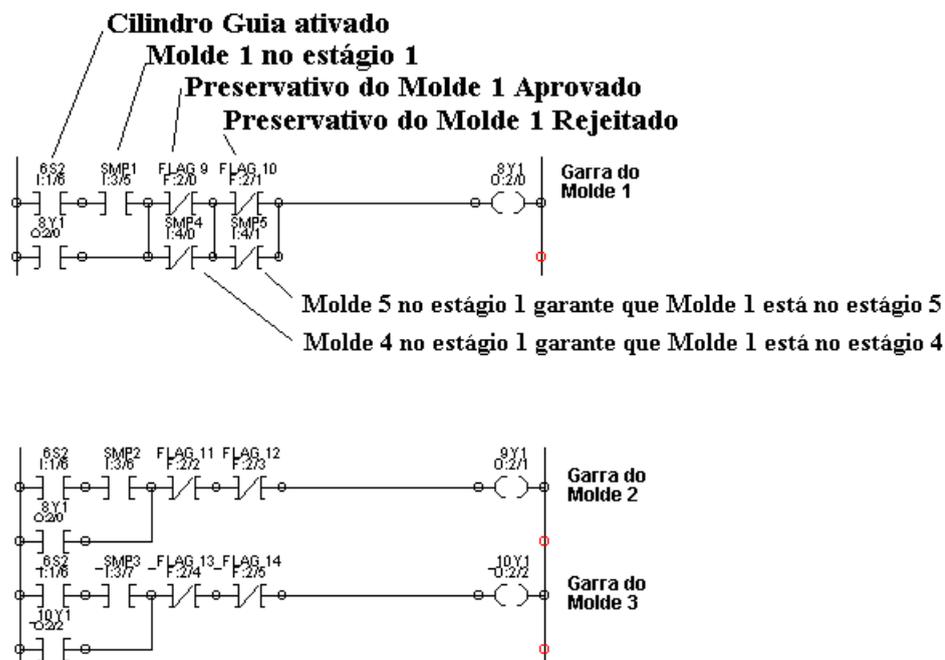
Figura 48 Programa em Ladder do cilindro angulador

A Figura 49 apresenta o programa em Ladder para controlar o cilindro guia responsável por introduzir o preservativo no molde. Esse cilindro só irá avançar quando o cilindro angulador tiver avançado por completo, fato confirmado pela atuação do sensor 7S2. O mesmo só irá retornar quando o conjunto manipulador tiver liberado o preservativo no molde, fato confirmado pela atuação do sensor 1S2.



Figura 49 Programa em Ladder do cilindro guia

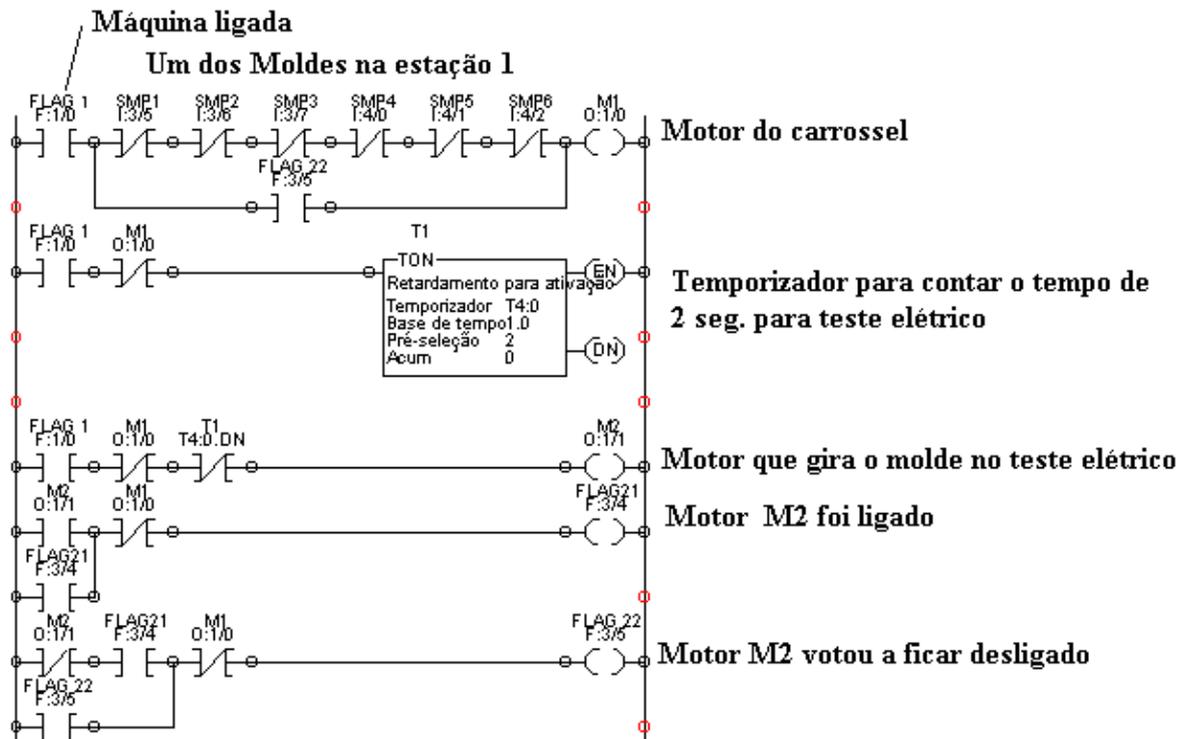
A Figura 50 apresenta parte do programa em Ladder para controlar as garras dos moldes. Cada molde possui uma garra responsável de impedir que o preservativo saia do molde durante o teste elétrico, para cada molde existe uma linha de programa. Todos eles são ativados quando o molde está no estágio 1 e após o cilindro guia introduzir o preservativo no respectivo molde. Essa garra só é desativada no estágio 4, se tiver sido aprovado o preservativo, ou no estágio 5, se tiver sido rejeitado.



**Figura 50 Programa em Ladder das garras dos moldes**

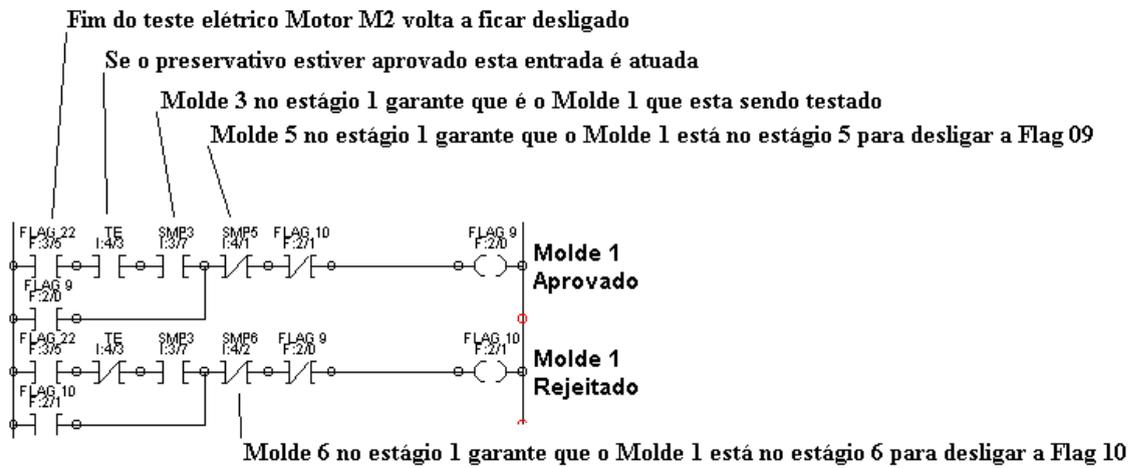
A Figura 51 apresenta o programa em Ladder para controlar o estágio 3 da máquina. É nesse estágio que o preservativo é colocado em contato com uma borracha condutora energizada, relembrando o fato de que os moldes estão aterrados. Se houver fuga de corrente o preservativo estará rejeitado, sendo que a entrada I:4/3, representada na Figura 52, é atuada caso o molde esteja aprovado. O teste inicia toda vez que um molde é posicionado no estágio 1 e após 2

segundos é encerrado. O motor M2 é responsável por girar o molde em contato com a borracha condutora.



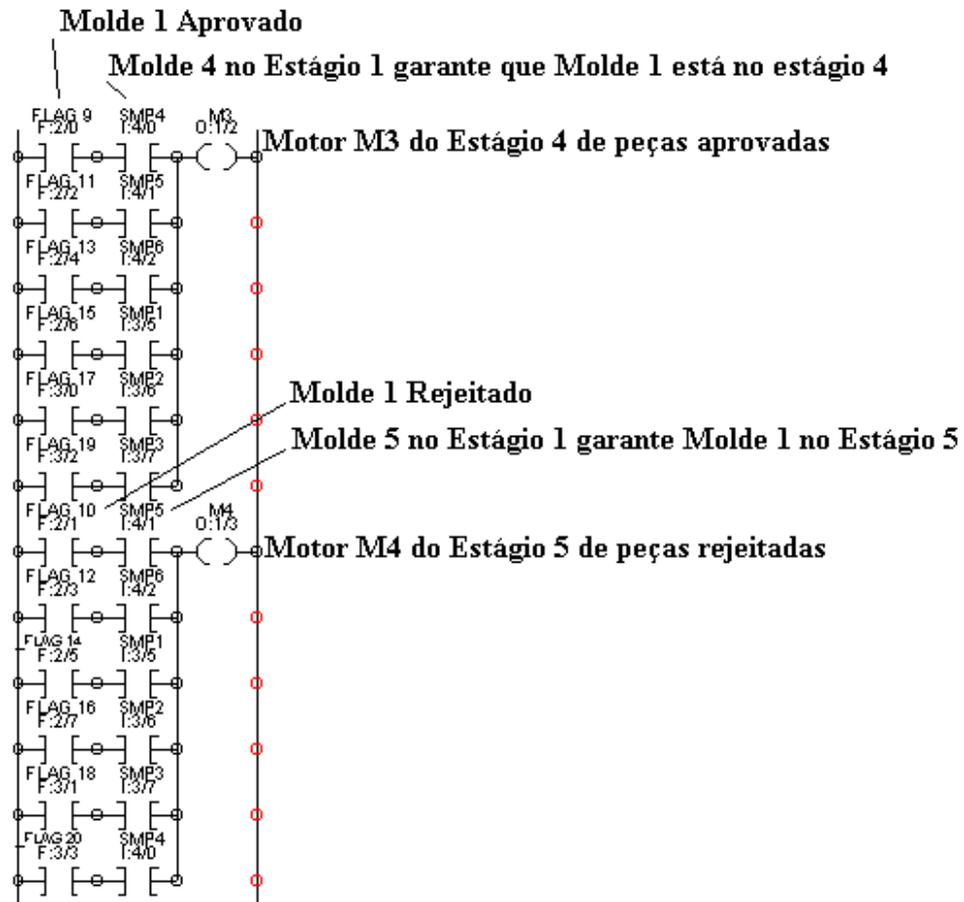
**Figura 51 Programa em Ladder do estágio 3**

Na Figura 52 é apresentado o programa em Ladder que informará os estágios 4 e 5 se o preservativo foi aprovado ou rejeitado no estágio 3. No caso do molde 1 se o preservativo tiver sido aprovado será atuada a “Flag 9”, se rejeitado será atuada a “Flag 10”. As “Flags” 9 e 10 só serão desativadas no estágio 5 e 6, respectivamente.



**Figura 52 Programa em Ladder que determina se o preservativo esta ou não aprovado**

O programa em Ladder da Figura 53, é responsável por controlar os motores 3 e 4 dos estágios 4 e 5. Esses motores são responsáveis por retirar os preservativos dos moldes.



**Figura 53 Programa em Ladder dos estágios 4 e 5**

## **CAPÍTULO 4 RESULTADOS E CALCULO DO RETORNO DO INVESTIMENTO**

Neste capítulo, é abordada a última fase do processo DMAIC, o “controlar”, onde procura-se observar se o objetivo inicial de se atingir o índice Seis Sigma foi atingido, após implantação das melhorias no processo (GARCIA,2008)

### **4.1 Resultados**

Com as automatizações implantadas obtiveram-se vários ganhos:

- ? o número de funcionários afastados por dores nas mãos diminuiu em 75%, o que traz uma redução anual de R\$ 66.000,00 com gastos de encargos e salários;
- ? em um ano de implantação da automatização dos dois processos (abril/2007 a março/2008) nenhum novo caso de LER foi diagnosticado. Atualmente, outras duas máquinas, nessa área, estão sendo automatizadas: o processo de alimentação do teste elétrico e a alimentação dos preservativos na máquina que faz o processo de selagem e lubrificação do preservativo. O objetivo de alcançar o índice Seis Sigmas, ou seja, 3,4 dpmo foi alcançado. Para manter este índice é importante continuar a melhorar o processo de fabricação, para que não haja novos casos de LER nessa fábrica;
- ? eliminou-se a área de estocagem dos preservativos a serem retrabalhados no teste elétrico com a introdução da máquina de desenrolar preservativos. Os lotes

reprovados são imediatamente desenrolados e levados para serem testados novamente no teste elétrico;

- ? redução de paradas na produção devido ao processo de retrabalho;
- ? aumento de produtividade no processo de desenrolar os preservativos em 700% e no teste elétrico em 215%.

## 4.2 Processo de Desenrolar Preservativos

A Tabela (1) apresenta um comparativo entre o processo anterior em que os preservativos eram desenrolados manualmente e o processo atual automatizado. Considerando que em 12 meses (Abril/06 - Março/07) foram retrabalhados 32 lotes por furo, em um total de 3.244.460 unidades, dispendo de 3.244,46 horas de serviço manual. Para realizar o mesmo trabalho com a máquina seriam gastos 443,49 horas. Nesse caso, seria necessário apenas 1 funcionário para colocar os preservativos e depois levar os preservativos desenrolados ao teste elétrico.

Considerando que, em média, o setor de preservativos gasta com encargos e salário o valor de R\$17,00 por hora/homem trabalhada, gastou-se no período de 12 meses o valor de R\$55.155,82 com encargos e salários para desenrolar manualmente os preservativos, que se tivessem sido desenrolados pela máquina gastariam apenas R\$7.539,33. Dividindo esses valores por 12 meses, pode-se concluir que a economia por mês seria de R\$ 3.968,03, considerando-se que, ao invés de aplicar o capital na construção da máquina esse estivesse aplicado em uma instituição financeira que garantisse 0,6% de juros, e que a cada mês fosse debitada desta aplicação R\$ 3.968,03 teríamos um *Pay Back* de menos de 3 meses.

**Tabela 1 Comparação entre o processo manual e automático de desenrolar preservativos**

	<b>Processo Manual</b>	<b>Processo Automatizado</b>
<b>Produtividade por funcionário (produtos/hora)</b>	1.000	7.000
<b>Horas/Homem para desenrolar</b>	3.244,46	443,49
<b>Encargos e Salários por ano</b>	R\$ 55.155,82	R\$ 7.539,33
<b>Encargos e Salários por mês</b>	R\$ 4596,31	R\$ 628,28

### 4.3 Processo de Colocação do Preservativo no Molde

A Tabela 2 faz um comparativo entre duas estações de teste elétrico com o processo de vestir o molde manual e automático. O custo de implantação de duas estações com o processo de vestir o molde automático é de R\$ 200.000,00 , considerando a economia mensal em encargos e salários de R\$ 8.228,00, e considerando-se que o valor de investimento da máquina estivesse aplicado em uma instituição financeira à 0,6% de rendimento, chega-se a um Pay Back de 28 meses.

As soluções implantadas e ajustadas oportunamente nos dois processos, atendem as especificações de produção, tanto em qualidade como em quantidade de produção demandada.

**Tabela 2 Comparação entre duas estações do teste elétrico com o processo de vestir o molde manual e automático**

	<b>Processo Manual</b>	<b>Processo Automatizado</b>
<b>Número de funcionários para operar duas estações</b>	2	1
<b>Produtividade por funcionário (produtos/minuto)</b>	28	60
<b>Produção anual</b>	195.130.880	209.068.800
<b>Encargos e Salários por ano</b>	R\$ 197.472,00	R\$ 98.736,00
<b>Encargos e Salários por mês</b>	R\$ 16.456,00	R\$ 8.228,00

## CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Com a implantação da automação nesse processo industrial foi possível liberar o homem de uma atividade altamente insalubre, com um investimento que se paga em pouco tempo.

No caso do processo de desenrolar preservativos a serem retrabalhados no teste elétrico o *Pay Back* é de três meses. Além de poupar o ser humano nessa atividade e eliminar a área de estocagem, o retrabalho passou a ser imediato, não havendo mais a necessidade de interromper a produção para executar esse serviço.

Já no teste elétrico com a troca do carrossel, onde a colocação do preservativo no molde para teste, deixou de ser manual para ser automática, o *Pay Back* é de 28 meses. Além de poupar o ser humano dessa uma atividade insalubre, com um único operador é possível controlar dois ciclos ao mesmo tempo. O preservativo sai desse processo totalmente enrolado não sendo necessário mais a intervenção humana (terminar de enrolar os preservativos), atividade esta também insalubre.

Tal solução proposta é inovadora atraindo o interesse de outras fábricas parceiras da que adotou esta metodologia, pois apresentam a mesma problemática aqui solucionada.

Como trabalhos futuros é sugerido, automatizar o processo de alimentação dos testes elétricos, pois ainda existe a necessidade de um operador para alimentar o duto de vácuo que transporta o preservativo até o dispositivo de colocação do preservativo no molde automático. É sugerido também a automatização do processo de alimentação da máquina que efetua a selagem do produto.

## REFERÊNCIAS

BAADER, E.W. *Enfermedades Profesionales*. Ed. Montalvo, 1960.

BEGA, E.D. *Instrumentação Industrial*. Ed. Interciência, 2006.

BLAUTH, R. *6 Sigmas uma Estratégia para Melhores Resultados*. Revista FAE Business, nº5, abril 2003.

BHOTE, K. *Qualidade de Classe Mundial*. Ed. Qualitymark, 1992.

BRAVERMAN, H. *Trabalho e Capital Monopolista*. Ed. Zahar, 1981.

CARDOSO M.J.M. *Conseqüências do neo-liberalismo*. Economia e Sociedade. Revista do Instituto de Economia da Unicamp, 1992.

CORONADO, R.B., ANTONY, J. *Critical Success Factors For the Successful Implementation of Six Sigma Projects in Organisations*. The TQM Magazine, 2002.

CORRÊA, H. L., CAON, M. *Gestão em Serviços*. Ed. Atlas, 2002.

COUTINHO, L. *A Terceira Revolução Industrial e Tecnológica*. Revista do Instituto de Economia da Unicamp, 1992.

DALL' AMICO, R. *Princípios Básicos de CLP*. Ed. SMC Pneumáticos do Brasil Ltda., 2003.

DEMBE, A. *The Social History of Musculo- Skeletal Disorders*. II International Scientific Conference on Prevention of Work Related Musculo-skeletal Disorders. Montreal, 1995.

ECKES, G. *A Revolução 6 Sigma*. Ed. Campus, 2001.

FERREIRA, A. B. H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Ed. Nova Didática, 2004.

FESTO, *Apostila Festo*. Disponível em: <WWW.festo.com>. Acesso em: 15 abril 2007.

FIALHO, A.B. *Automação Pneumática*. Ed. Erica, 2006.

FIALHO, A.B. *Instrumentação Industrial – Conceito Aplicação e Análise*. Ed. Erica, 2006.

GARCIA, M.V.R. *Melhoria do Processo Industrial Utilizando Metodologia Seis Sigma*. V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CON08-0874, p240, 2008.

GE – *Seis Sigma*. Disponível em: <<http://www.ge.com.br/sixsigma/geevolution.html>>. Acesso: 06 jun. 2007.

GEORGINI, M. *Descrição e Implantação de Sistemas Sequenciais com PLCs*. Ed. Erica, 2007.

GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems and CIM*, Ed. Prentice Hall, 1987.

HARVEY, D. *Condição Pós-Moderna*, São Paulo: Ed. Loyola, 1994.

KUORINKA, I. & FORCIER, L. *Les Lésions Attribuibles au Travail Répétitif. Ouvrage de Référence sur les Lésions Musculo-Squeletiques Liées au Travail*. Québec: Ed. MultiMondes, 1995.

LANDES, D. S. *Prometeu Desacorrentado. Transformação Tecnológica e Desenvolvimento Industrial na Europa ocidental desde 1750 até a nossa época*. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira, 1994.

LEAVELL, H. & CLARK E. G. *Medicina Preventiva*. São Paulo: Ed. McGraw Hill, 1976.

LOSANO, M. G. *Histórias de Autômatos. Da Grécia Clássica à Belle Époque*. Ed. Companhia das Letras, 1992.

MARX, K. *O Processo de Produção do Capital*. Ed. Civilização Brasileira, 1975.

MARX, K. *Fundo de Cultura Contemporânea*. Ed. El Capital, 1972.

NAKASEKO, M.; TOKUNAGA, K. & HOSOKAWA, M. *History of Occupational Cervico-Brachial Disorders in Japan*. Journal of Human Ecology, 1982.

NAVARRO, V. *Produção e Estado do Bem-Estar Social*. Ed. Cortez/Cedec, 1995.

NATALE, F. *Automação Industrial*. Ed. Erica, 2007.

NOLL, N.G.V.B. *Automação Eletropneumática*. Ed. Erica, 2005.

NUSAT (Núcleo de Referência em Doenças Ocupacionais da Previdência Social). *Relatório anual*. Belo Horizonte: NUSAT, 1993.

OFFE, C. *Capitalismo Desorganizado*. Ed. Brasiliense, 1994.

O'Neill, M. J. *Quando a direita vacilou*. Ed. Do autor, 1998.

O'Neill, M. J. *LER/DORT – O Desafio de Vencer*. Ed. Madras, 2003.

O'Neill, M.J. *Quanto custa a dor*. Disponível em:

<<http://www2.uol.com.br/prevler/Artigos/quantocusta.htm/>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

PANDE, P. S. *Estratégia Seis Sigma*. Ed. Qualitymark, 2002.

PARKER, Apostila M1001BR – *Tecnologia Pneumática Industrial*, Editora Parker Training, Agosto 2000.

PARKER, Apostila M1002-2BR – *Tecnologia Eletropneumática Industrial*, Editora Parker Training, Agosto 2001.

PEREZ-WILSON, M. *Seis Sigma – Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios*. Ed. Qualitymark, 1998.

PYZDEK, T. *A Revolução do Seis Sigma*, *Revista Banas Qualidade*, Ed. Maio, 2000.

RAMAZZINI, B. *As Doenças dos Trabalhadores*. Ed. Liga Brasileira Contra os Acidentes de Trabalho, 1971.

RIBEIRO, H. P. *Alimentação Como Indicador de Triagem Socioeconômica*. Ed. Liga Brasileira Contra os Acidentes de Trabalho, 1968.

RIBEIRO, H. P. & LACAZ, F. C. S. *De que Adoecem e Morrem os Trabalhadores*. Ed. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo (Imesp), 1985.

ROCHA, L. E. *Tenossinovite Como Doença do Trabalho no Brasil*. *Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo*. In: *Cadernos de Saúde Pública* vol.13, supl.2, 1997, pp. 85-93.

ROJAS, F. & PALACIO, G. *Tecnología de la Información: Una Nueva Estrategia Capitalista de Subordinación de los Trabajadores*. *Cuadernos de Economía*, Bogotá, 1987.

ROTONDARO, R. G. *Seis Sigma – Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços*. Ed. Atlas, 2002.

SILVA, L.H. *O novo mundo do trabalho*. Disponível em:

<[http://www.multirio.rj.gov.br/sec21/chave\\_artigo.asp?cod\\_artigo=213](http://www.multirio.rj.gov.br/sec21/chave_artigo.asp?cod_artigo=213)>. Acesso em 05/02/2008

SILVEIRA, P. R., & Santos, W. E. *Automação e Controle Discreto*. Ed. Érica, 2007.