

**UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRANSFORMAÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO EM PNEUMÁTICO

DAVIES GIMENES SOARES

Orientador: Prof. Esp. RONALDO LOURENÇO FERREIRA

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à UniRV - Universidade de Rio Verde, como
parte das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.**

RIO VERDE - GO

2015

**UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

TRANSFORMAÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO EM PNEUMÁTICO

DAVIES GIMENES SOARES

Orientador: Prof. Esp. RONALDO LOURENÇO FERREIRA

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à UniRV - Universidade de Rio Verde, como
parte das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.**

RIO VERDE - GO

2015

Soares, Davies Gimenes.

Transformação De Um Sistema Mecânico Para Pneumático / Davies
Gimenes Soares – Rio Verde- 201 5.

69p.: Il.; 27 cm.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) –Apresentada a
UNIRV Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica,
2015.

Orientador: Prof. Ronaldo Lourenço Ferreira



UNIVERSIDADE DE RIO VERDE

CREENCIADA PELO DECRETO Nº 5.971 DE 02 DE JULHO DE 2004

Fazenda Fontes do Saber
Campus Universitário
Rio Verde - Goiás

Cx. Postal 104 - CEP 75901-970
CNPJ 01.815.216/0001-78
I. E. 10.210.819-6 / I.M. 021.407

Fone (64) 3620-2200
e-mail fesurv@fesurv.br
www.fesurv.br

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: TRANSFORMAÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO EM UM SISTEMA PNEUMÁTICO

AUTOR: DAVIES GIMENES SOARES

ORIENTADOR: Prof. Esp. RONALDO LOURENÇO FERREIRA

Esta monografia foi julgada adequada para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA e aprovada em sua forma final.

Prof. Esp. RONALDO LOURENÇO FERREIRA

Prof. Me. JOÃO PIRES DE MORAES

Prof. EDSON ROBERTO DA SILVA

Prof. Dr. WARLEY AUGUSTO PEREIRA
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

RIO VERDE – GO

2015

DEDICATÓRIA

Á minha família, minha esposa, filhas e meus amigos.

Á Deus, que sempre esteve comigo, nesta longa caminhada. À Deus, em primeiro lugar, pois sem ele não seria possível esta caminhada.

À minha esposa e filhas, que estiveram ao meu lado, me auxiliando, sendo pacientes nos momentos difíceis e sempre presentes.

À minha família, o meu muito obrigado!

Agradeço aos meus pais, que de um modo ou de outro me ajudaram nesta jornada.

Aos colegas e professores, que dividiram seus conhecimentos e serviram de exemplos de vida e formação profissional.

A todos que de uma maneira ou outra contribuíram, para que meu sonho se tornasse realidade.

RESUMO

SOARES, Davies Gimenes. **Transformação de um Sistema Mecânico Para Pneumático**. 2015. 69 f. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – UniRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015.¹

O presente trabalho traz como tema, a transformação de um sistema mecânico em pneumático. O objeto de estudo é a impressora Martin 924, de origem francesa, considerada a nível mundial uma das melhores em sua área de atuação. O antigo sistema de operação, que utilizava garfos na separação das caixas, apresentava muitos problemas de desgaste de buchas, bem como incontáveis quebras, provocando assim inúmeras paradas para realização de manutenção corretiva. A substituição de garfos no sistema de separação, por atuadores pneumáticos trouxe maior desempenho do maquinário extinguindo as paradas não programadas. A revisão bibliográfica foi embasada em diversos autores. O projeto foi realizado com sucesso em uma impressora Martin 924 em uma empresa de grande porte localizada na cidade de Rio Verde - GO.

¹ Orientador: Prof. Esp. Ronaldo Lourenço Ferreira

PALAVRAS-CHAVE

Ar Comprimido, pneumática, máquina.

ABSTRACT

SOARES, Davies Gimenes. Transformation of a Mechanical System For Tyre. 2015. 69 f. Course completion Monograph (Undergraduate in Mechanical Engineering) - UniRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2015.²

This work brings the theme, the transformation of a mechanical system in tire. The study object is the printer Martin 924, of French origin, considered globally one of the best in its field. The old operating system, which forks used in the separation of boxes, packing wear presented many problems, as well as countless breaks, thus causing numerous shutdowns to perform corrective maintenance. The replacement forks in the separation system for pneumatic actuators brought higher performance machinery extinguishing unscheduled stops. The literature review was based on several authors. The project was successfully carried out on a Martin 924 printer on a large company located in Rio Verde - GO.

KEYWORDS

² Adviser: Prof. Esp. Ronaldo Lourenço Ferreira

Compressed Air, pneumatics, machine.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Fonte de ar comprimido, incluindo produção, distribuição e condicionamento..	16
FIGURA 2	Reservatório vertical, vista esquemática	18
FIGURA 3	Diagrama do secador por refrigeração	19
FIGURA 4	Secador por refrigeração	20
FIGURA 5	Diagrama do secador por absorção	20
FIGURA 6	Secador por absorção	21
FIGURA 7	Secador por adsorção dupla torre	22
FIGURA 8	Tubulação de aço flangeada.....	23
FIGURA 9	Mangueira de poliuretano	25
FIGURA 10	Unidade de condicionamento de ar comprimido	25
FIGURA 11	Classificação dos compressores	27
FIGURA 12	Esquema de compressores de simples efeito e duplo efeito	28
FIGURA 13	Frente de um compressor de parafusos	29

FIGURA 14	Traseira de um compressor de parafusos	29
FIGURA 15	Esquema de um compressor de parafuso	30
FIGURA 16	Compressor refrigerado a ar	31
FIGURA 17	Resfriador posterior a água com separador de umidade	34
FIGURA 18	Resfriador de ar com separador de umidade	35
FIGURA 19	Cilindro pneumático	35
FIGURA 20	Cilindros simples ação	36
FIGURA 21	Cilindro de dupla ação	37
FIGURA 22	Cilindro pneumático duplex contínuo ou tandem	37
FIGURA 23	Cilindro pneumático geminado duplex ou de múltiplas posições	38
FIGURA 24	Cilindro com amortecimentos	39
FIGURA 25	Exemplos de representação de válvulas	40
FIGURA 26	Exemplos de representação de válvulas	41
FIGURA 27	Acionamento elétrico e pneumático	42
FIGURA 28	Válvula de retenção	43
FIGURA 29	Válvula de escape rápido ERS	43
FIGURA 30	Válvula de Isolamento	44
FIGURA 31	Válvula de simultaneidade ou elemento E.....	44
FIGURA 32	Válvula de controle de fluxo unidirecional	45
FIGURA 33	Válvula de controle de fluxo bidirecional	46
FIGURA 34	Válvula de alívio	46
FIGURA 35	Sensor magnético instalado em um cilindro	48
FIGURA 36	Sensor ótico de barreira	49
FIGURA 37	Sensor ótico reflexivo	49
FIGURA 38	Sensor ótico retro-reflexivo	50
FIGURA 39	Sensor indutivo	50
FIGURA 40	Sensor barométrico	51
FIGURA 41	Chave fim de curso acionada por rolete mecânico	51
FIGURA 42	Fotos de dois tipos botoeiras, com trava e pulsadora	52
FIGURA 43	(Adaptada) – Vista explodida da Impressora Martin 924	54
FIGURA 44	(Adaptada) – Movimentos principais do conjunto da Impressora Martin 924	55
FIGURA 45	Impressora Martin 924 adaptada	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Vantagens oferecidas no uso do ar comprimido.	12
TABELA 2 - Desvantagens oferecidas no uso do ar comprimido.	13
TABELA 3 - Variação da pressão atmosférica em relação à altitude.	14
TABELA 4 - Relação entre unidades de pressão.	14
TABELA 5 - Características funcionais dos tipos de sensores citados.	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E UNIDADES DE MEDIDA

a.C	antes de Cristo
Bar	é um múltiplo da Bária: 1 bar = 100 bárias. Bária é a unidade de pressão no sistema c, g, s, e vale uma dyn/cm ²
CETOP	Comitê Europeu de Transmissão Óleo – Hidráulica e Pneumática
Cv	cavalo-vapor, é uma unidade de medida de potência e força, não reconhecida no Sistema Internacional de Unidades (SI)
ISO	Organização Internacional de Normalização
kgf/cm²	quilograma força por centímetro quadrado
kPa	o pascal (Pa) é a unidade padrão de pressão e tensão no SI. Equivale a força de 1 N aplicada uniformemente sobre uma superfície de 1 m ² . O nome desta unidade é uma homenagem a Blaise Pascal, eminente matemático, físico e filósofo francês.
m	metro
mm	milímetro
N	Newton, unidade de força onde é dada pela massa multiplicado pelo valor da aceleração do corpo
PSI	abreviatura de <i>pounds per squareinch</i> – libras por polegada quadrada
Torr = mm Hg	também chamado Torricelli, é uma unidade de pressão, que equivale a 133,322 Pa. Surgiu quando Evangelista Torricelli inventou o barômetro de mercúrio, em 1643 e tem caído em desuso com o aparecimento de tecnologia mais moderna para a medição da pressão atmosférica e com a disseminação das unidades do sistema internacional de unidades. Também é a unidade utilizada na medicina para indicar a pressão sanguínea (PAVANI, 2010).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 HISTÓRICO DA PNEUMÁTICA	13
2.1 Características dos Sistemas Pneumáticos	12
2.2 Comportamento do Ar Comprimido	13
2.2.1 Pressão	13
2.2.2 Gás ideal	15
2.3 Produção do Ar Comprimido	15
2.3.1 Qualidade do ar comprimido	16
2.3.2 Reservatório de ar comprimido	17
2.3.3 Localização do reservatório	17
2.3.4 Secagem do ar comprimido	18
2.4 Rede de Distribuição	22
2.4.1 Válvulas de bloqueio na linha de distribuição	23
2.4.2 Ligações entre os tubos	23
2.4.3 Tomadas de ar comprimido	24
2.4.4 Vazamentos de ar comprimido	24
2.4.5 Tubos	24
2.5 Unidade de Condicionamento de Ar Comprimido	25
2.5.1 Filtragem de ar	26
2.5.2 Tipos de reguladoras de pressão	26
2.5.3 Manômetros	27
2.5.4 Lubrificação	27
2.6 Compressores	27
2.6.1 Sistema de refrigeração dos compressores	31
2.6.2 Critérios para a escolha de compressores	32
2.7 Contaminação do Ar Atmosférico	34
2.8 Resfriador Posterior (<i>aftercoller</i>)	35
2.9 Atuadores Pneumáticos	36
2.10 Tipos de Cilindros Pneumáticos	37
2.11 Válvulas Pneumáticas	40
2.11.1 Válvulas de controle direcional	41

2.12 Válvulas de Bloqueio	43
2.12.1 Válvula de retenção	43
2.12.2 Válvula de escape rápido	44
2.12.3 Válvula de isolamento (OU)	45
2.12.5 Válvula de simultaneidade (E)	45
2.12.6 Válvulas de controle de fluxo	46
2.12.7 Válvulas de controle de pressão	47
2.13 Sensores	48
2.13.1 Sensores magnéticos	49
2.13.2 Sensores óticos	49
2.13.3 Sensores indutivos	51
2.13.4 Sensores barométricos	52
2.14 Chaves Fim de Curso	52
2.15 Botoeiras	53
MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1 Materiais	54
3.2 Equipamento	54
3.3 Metodologia	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

No presente trabalho desenvolve-se o estudo de uma adaptação para uma impressora industrial de caixas de papelão, foi realizado a substituição de um mecanismo original por um pneumático de maior confiabilidade, visto que o mecanismo anterior era ponto de constantes reparos e causava demasiadas pausas no regime de trabalho do equipamento.

A pneumática é um ramo da Engenharia que faz uso do gás, ou ar pressurizado, para a tecnologia de acionamento de comando, sendo utilizada em uma variedade muito grande de aplicações como: sistemas pneumáticos industriais, frenagem de caminhões, clínicas, hospitais, pulverizações de fluido e outras diversas aplicações que facilitam a produtividade a um custo operacional menos oneroso. A palavra pneumática é oriunda do grego “*pneumatikos*” cujo significado é sopro, fôlego. O uso do ar comprimido para a realização de trabalho ocorre há milhares de anos, datado de 2.550 a.C, no uso de foles e órgãos, que são instrumentos que geram sons com o uso do ar sob pressão em tubos com furos. (CAMARGO, 2010).

Na importância de substituir o mecanismo tem-se o custo elevado das pausas de trabalho do equipamento, bem como disposição de novas peças e mão-de-obra “desnecessária”. O assunto aqui tratado intenta em explicar o fundamento da nova adaptação, das vantagens, aplicabilidade e principalmente a confiabilidade que esta agregou à máquina.

Inúmeras vantagens se apresentam no uso da pneumática, entre elas o incremento na produção e o baixo custo, redução do custo operacional com a manutenção e até mesmo devido os equipamentos pneumáticos serem robustos e pouco sensíveis, a golpes e vibrações, bem como o aumento dos ritmos de produção, e a resistência a ambientes hostis, quando projetado para tal finalidade. Porém, desvantagens podem existir como: a remoção de impurezas, eliminação da umidade, boa preparação do ar e o fato do ar comprimido ser uma fonte de energia muito cara, contudo, compensado pelo custo baixo da instalação e pela rentabilidade do ciclo de trabalho. Devido à alta compressibilidade do ar é impossível obter velocidades uniformes e paradas

intermediárias em um circuito pneumático (PAVANI, 2010). Objetiva-se aumentar a confiabilidade e eliminar custos na manutenção corretiva do aparelho, também demonstrar as etapas e elementos envolvidos na adaptação e explicar como a pneumática influi no novo mecanismo de cilindros pneumáticos instalados.

2 HISTÓRICO DA PNEUMÁTICA

O ar comprimido é uma das técnicas mais antigas usadas na transmissão de energia que o homem conhece. Segundo Camargo (2010), “O conhecimento da existência física do ar, e a sua utilização, é mais ou menos consciente para o trabalho, são comprovados há milhares de anos”. O primeiro homem que tem esse conhecimento, se interessa, pela pneumática, como meio auxiliar de trabalho. Assim, foi o grego Ktésibios há mais de 2000 anos, ele construiu uma catapulta de ar comprimido. Um dos primeiros livros tratando do emprego do ar comprimido como transmissão de energia, data do 1º século d.C. e descreve equipamentos, que foram acionados com ar aquecido (CAMARGO, 2010).

Apesar de a base da pneumática ser uma dos mais velhos conhecimentos da humanidade, somente no século XIX, mais precisamente nos anos 50, que o estudo de suas características e comportamento se tornou sistemático, e ela foi introduzida na produção industrial. Antes, já existiam alguns campos de aplicação e aproveitamento da pneumática, como: a indústria mineira, a construção civil e a indústria ferroviária, mas a introdução generalizada na indústria começou com a maior demanda de automatização e racionalização dos processos de trabalho. No início houve certa rejeição proveniente da falta de conhecimento e instrução, porém, com o tempo, foi aceita e o número de campos de aplicação tornou-se muito maior. Hoje, o ar comprimido é indispensável nos mais diferentes ramos industriais, sendo utilizado em aparelhos pneumáticos, mais precisamente, na automação (CAMARGO, 2010).

Segundo Camargo (2010) “Automação: a automação retira do homem as funções de comando e regulação, conservando, apenas as funções de controle. É um processo considerado automatizado quando este é executado, sem a intervenção do homem, sempre do mesmo modo e com o mesmo resultado”.

Dos antigos gregos provém a expressão “Pneuma” que significa fôlego, vento e filosoficamente, alma. Derivado da palavra “Pneuma”, o conceito de “PNEUMÁTICA”, que é a disciplina que estuda os movimentos dos gases e seus fenômenos. Também é definida como a ciência aplicada do uso do ar comprimido e gases semelhantes, como nitrogênio, que também faz parte da

formação do ar atmosférico, na atuação de dispositivos, que geram movimentos alternativos, movimentos de vai-e-vem, rotativos e combinados (PAVANI, 2010).

2.1 Características dos Sistemas Pneumáticos

Na TABELA 1 percebe-se as vantagens no uso de ar comprimido em sistemas pneumáticos.

TABELA 1 - Vantagens oferecidas no uso do ar comprimido.

Propriedades positivas do uso do ar comprimido	
Propriedade	Descrição
Quantidade	O ar é encontrado em quantidades ilimitadas, em quase todos os lugares.
Transporte	O AC é de fácil transporte por tubulações, mesmo em longas distâncias. Não é preciso preocupar com o retorno de ar.
Armazenamento	Pode ser armazenado em reservatórios para ser usado depois, quando os compressores se encontrarem desligados.
Temperatura	O trabalho realizado com AC não varia com oscilações de temperatura, garantindo também, em situações térmicas extremas, um funcionamento seguro.
Segurança	Não existe risco de explosão ou incêndio, sendo seguro contra explosão e eletrocussão, sendo indicado para aplicações especiais.
Limpeza	É limpo. O ar, que venha a escapar das tubulações ou elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente. Sendo esta uma exigência nas indústrias alimentícias, têxteis, química, eletrônicas.
Construção de elementos	Os elementos de trabalho são de construção simples e podem ser obtidos a baixos custo.
Velocidade	O AC é um meio de trabalho rápido, que permite alcançar altas velocidades de trabalho.
Regulagem	As velocidades e forças de trabalho dos elementos a AC são reguláveis, sem escala, porém são exigidos elementos como reguladoras de pressão e fluxo.
Seguro contra sobrecargas	Elementos e ferramentas a AC são carregáveis até a parada total e, seguros contra sobrecargas.

Fonte: PAVANI, 2010.

Na TABELA 2 percebe-se as desvantagens no uso de ar comprimido em sistemas pneumáticos.

TABELA 2 - Desvantagens oferecidas no uso do ar comprimido.

Propriedades negativas do uso do ar comprimido	
Propriedades	Descrição
Preparação	O ar comprimido requer uma boa preparação. Impureza e umidade devem ser evitadas, pois provocam desgastes nos elementos pneumáticos, oxidação nas tubulações e projeção de óxidos.
Compressibilidade	Não é possível manter uniforme e constante as velocidades dos pistões mediante ar comprimido. Quando é exigível, recorre-se a dispositivos especiais.
Forças	O ar comprimido é econômico somente até determinada força, limitado pela pressão normal de trabalho de 700 kPa (7 bar), e pelo curso e velocidade (o limite está fixado entre 2000 e 3000 N (2000 a 3000 kPa).
Escape de ar	O escape de ar é ruidoso. Mas, com o desenvolvimento de silenciadores, esse problema está solucionado.
Custo	O ar comprimido é uma fonte de energia muito cara. Porém, o alto custo de energia é compensado pelo custo baixo da instalação e pela rentabilidade do ciclo de trabalho.

Fonte: PAVANI, 2010.

2.2 Comportamento do Ar Comprimido

Para entender as características dos sistemas pneumáticos é primordial entender o comportamento do ar, apresentando para tanto, o conceito de gás ideal. No estudo do comportamento dos gases é de grande importância o conceito de pressão.

2.2.1 Pressão

Os gases são formados por moléculas em movimento, que produz força de pressão, no recipiente, em que se encontra contido. Indicações de pressão podem ter como referência o ponto zero absoluto, ou seja, o vácuo ou a pressão atmosférica. Motivo pelo qual fala-se em pressão absoluta e pressão relativa. A pressão atmosférica é produzida pela camada de ar que envolve o planeta Terra e depende da densidade e da altitude, não tendo um valor constante. A

pressão atmosférica ao nível do mar vale 1,013 bar (= 1,013103 N/m² = 103Pa) (CAMARGO, 2010).

Pressão relativa (manométrica): é a pressão registrada no manômetro, é a medida da pressão em relação à pressão atmosférica no local em que se está sendo registrada, podendo ser positiva ou negativa.

Pressão absoluta: a pressão absoluta é a soma da pressão manométrica com a pressão atmosférica. Ao representar a pressão absoluta, acrescentamos o símbolo “a” após a unidade, como exemplo, temos PSia. A TABELA 3 apresenta uma relação da variação da pressão atmosférica quando se altera a altitude.

TABELA 3 - Variação da pressão atmosférica em relação à altitude.

Variação da pressão atmosférica em relação à altitude					
Altitude – m	0	100	200	300	400
Pressão (kgf/cm ²)	1,033	1,021	1,008	0,996	0,985
Altitude – m	500	600	700	800	900
Pressão - kgf/cm ²	0,973	0,960	0,948	0,936	0,925
Altitude – m	1000	2000	3000	4000	5000
Pressão - kgf/cm ²	0,915	0,810	0,715	0,629	0,552
Altitude – m	6000	7000	8000	9000	10000
Pressão - kgf/cm ²	0,481	0,419	0,363	0,313	0,270

Fonte: PAVANI, 2010.

São utilizadas variadas unidades de medida, de acordo com o país, tipo de ciência ou indústria. Na TABELA 4 estão algumas das relações utilizadas para a pressão:

TABELA 4 - Relação entre unidades de pressão.

Relação entre unidades de pressão				
kgf/cm²	PSI	Bar	kPa = KN/m²	Torr = mm Hg
1	14,223	0,98061	0,98062	7355185
0,07030	1	0,06894	6,894607	51,03752
1,01978	14,5045	1	0,01	750,0615
0,01019	10,1978	0,01	1	7,500615
000135	0,01933	0,00133322	0,133322	1

0,1	1,42223	0,098061	9,80602	73,55185
-----	---------	----------	---------	----------

Fonte: PAVANI, 2010.

2.2.2 Gás ideal

O calor faz com que as moléculas do ar se movimentem ocupando a totalidade do volume disponível produzindo forças de compressão. Em uma mistura de gases, cada gás se comporta como se os outros não existissem. A pressão total da mistura é igual a soma das pressões parciais de cada gás, e o vapor é produzido pela evaporação dos líquidos. Dependendo da temperatura pode haver a evaporação, até a pressão máxima do vapor, neste caso trata-se do vapor saturado. Segundo Camargo (2010), “Os gases podem ser entendidos como vapores superaquecidos e obedecem aproximadamente às leis físicas dos gases. Já vapores saturado não obedecem às leis físicas dos gases”. No estudo dos gases é comum os termos gases ideais e gases reais.

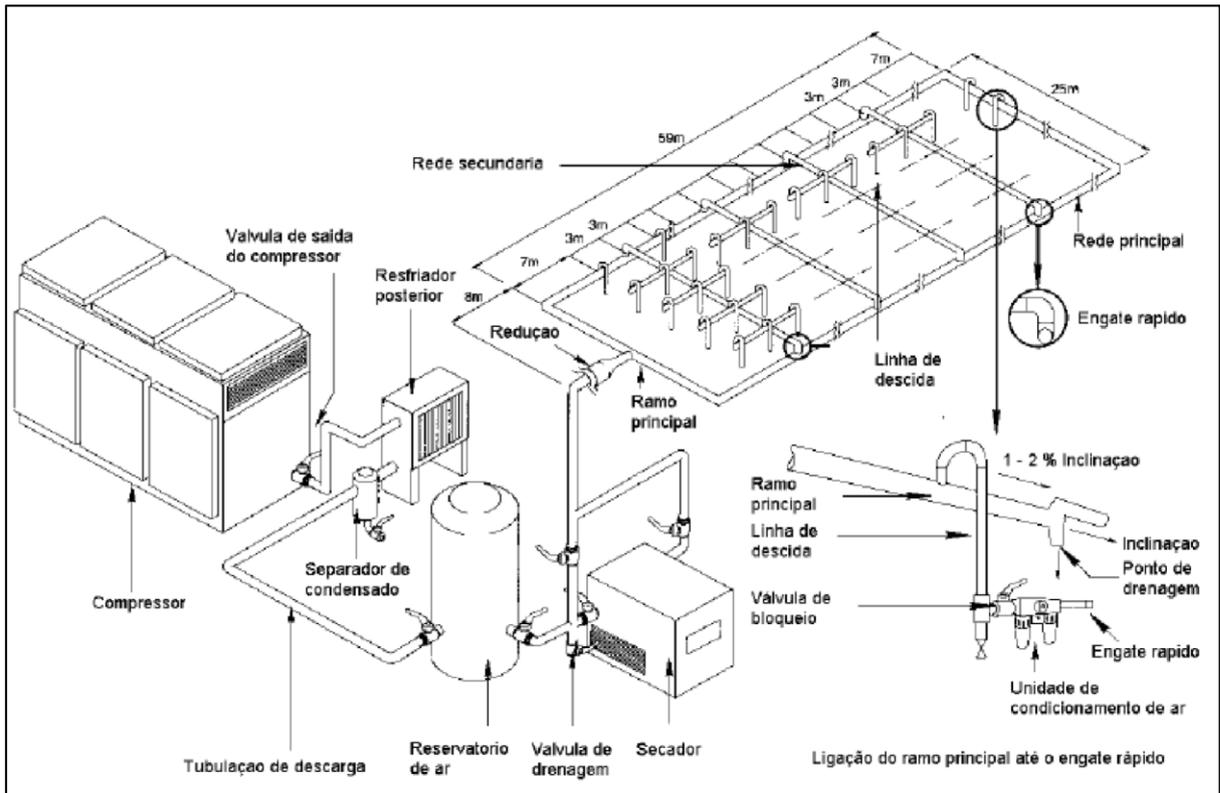
Gás real: vapor superaquecido que apresenta certa temperatura de condensação, torna-se líquido.

Gás ideal: não condensa no resfriamento, até o ponto zero absoluto, consistindo em um estado ideal, ou seja, aquele, que serve de modelo, facilitando o equacionamento teórico do seu comportamento, mas isso não ocorre na prática. No entanto, o ponto de condensação dos gases reais ocorre em baixas temperaturas e altas pressões, Deste modo, pode-se na pneumática a princípio, tratar o gás real com suficiente exatidão, como gás ideal (CAMARGO, 2010).

O estado de um gás é determinado por três grandezas físicas: pressão, temperatura e volume. Estas três grandezas estão relacionadas pela equação geral de estado dos gases (FIALHO, 2003).

2.3 Produção do Ar Comprimido

Para que o ar possa ter utilização industrial, deve possuir uma certa quantidade de energia, em forma de pressão e movimento, que é fornecida ao ar no processo de compressão (SCHULZ). A FIGURA 1 mostra um exemplo da produção de ar comprimido em uma estação de trabalho mais completa, com os itens principais de uma instalação pneumática.



Fonte: DE NEGRI, 2001.

FIGURA 1 - Fonte de ar comprimido, incluindo produção, distribuição e condicionamento.

2.3.1 Qualidade do ar comprimido

Equipamentos pneumáticos, principalmente as válvulas, são formados por mecanismos extremamente delicados e de alta sensibilidade, portanto, para que possam funcionar de maneira confiável e com ótimo rendimento, é preciso assegurar determinadas exigências de qualidade do ar comprimido como:

- pressão;
- vazão;
- teor de água;
- teor de partículas sólidas; □ teor de óleo.

As grandezas de pressão e vazão estão intimamente relacionadas com a força e velocidade, do atuador pneumático. Cada componente pneumático possui a sua especificação própria de pressão e vazão de operação. Para atender a essas especificações é necessário vazão suficiente no compressor, pressão certa na rede e tubulação de distribuição dimensionada sem erros, em

função da vazão. O ar deve passar por um tratamento rigoroso, envolvendo filtros, secadores e lubrificadores, antes de ser distribuído na fábrica (HASEBRINK, 1990).

2.3.2 Reservatório de ar comprimido

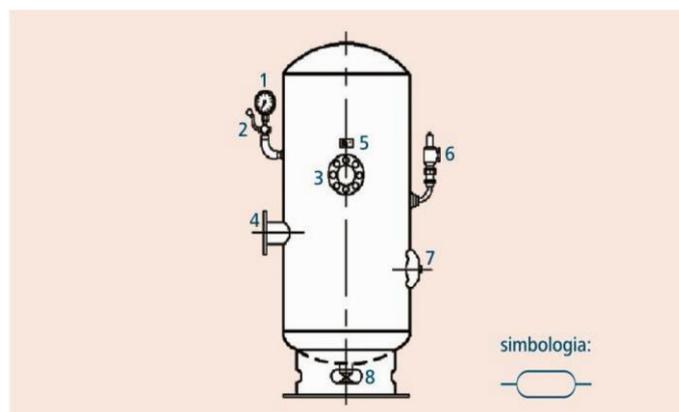
Todo sistema de ar comprimido, é composto de um ou mais reservatórios, cujas funções são:

- armazenar o ar comprimido;
- resfriar o ar auxilia a eliminação do ar que ao ser resfriado sofre condensação;
- compensar as flutuações de pressão e demanda em todo o sistema de distribuição;
- estabilizar o fluxo de ar comprimido;
- controlar as marchas dos compressores.

No Brasil, os reservatórios são construídos conforme a norma PNB - 109 da ABNT. Não devendo nenhum reservatório operar com uma pressão acima da Pressão Máxima de Trabalho Permitida (PMTP), salvo em casos que a válvula de segurança estiver dando passagem, mesmo nesta condição, a pressão não deve ser excedida em mais de 6% do seu valor (BOLLMNN,1997).

2.3.3 Localização do reservatório

Na melhor forma de instalação dos reservatórios é garantido, que todos os drenos, conexões e aberturas de inspeção sejam de acesso facilitado. A FIGURA 2 apresenta de forma esquemática um reservatório de ar comprimido.



Fonte: CTISM.

FIGURA 2 - Reservatório vertical, vista esquemática

1. Manômetro - indicador de pressão;
2. Válvula de bloqueio do manômetro;
3. Saída de ar do reservatório;
4. Entrada de ar do reservatório;
5. Placa de identificação;
6. Válvula de alívio;
7. Boca de visita;
8. Dreno.

Os reservatórios devem possuir:

- dreno preferencialmente automático, localizado no ponto mais baixo, para que seja feita a remoção do condensado acumulado;
- manômetro;
- válvulas de segurança.

Antes da utilização, os reservatórios devem ser submetidos a prova de pressão hidrostática, quando sujeitos à acidentes ou modificações. Em hipótese alguma deve enterrar ou fazer a sua instalação, em locais de difícil acesso, sendo devidamente instalado, fora da casa de compressores e na sombra, de modo a facilitar a condensação da umidade (BOLLMNN, 1997).

2.3.4 Secagem do ar comprimido

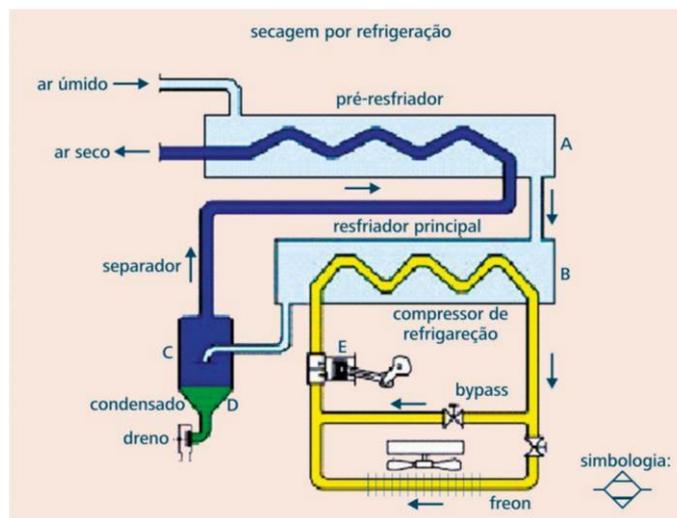
A secagem completa do ar comprimido é difícil e oneroso, porém é necessário que reduza ou elimine a umidade, porém o ar seco industrial não é totalmente isento de água. Após o processo de desidratação, o ar flui com um conteúdo de umidade residual, que permite ser utilizado sem inconveniente algum. Um secador de ar comprimido pode chegar a 25% do valor total de uma instalação de ar comprimido, apesar de ser um valor alto, reduz significativamente os custos de manutenção do sistema, evitando ou minimizado:

- substituição periódica de tubulações;

- substituição de componentes pneumáticos (filtros, válvulas, cilindros);
- impossibilidade de utilização deste ar para operações de pulverização e pintura;
- aumento de produtividade e
- impossibilidade a utilização deste ar para as operações de pulverização e pintura.

Os meios de secagem do ar comprimido mais comuns são: secagem por refrigeração, absorção, adsorção e adsorção por torres duplas.

Secagem por refrigeração: Consiste em esfriar o ar a uma temperatura suficientemente baixa, para que a água e o óleo existentes sejam retirados por condensação, sem o risco de congelamento, retirando grande parte, dos contaminantes. Após remover o condensado, alguns secadores, por refrigeração reaquecem o ar comprimido, através de recuperadores de calor. Devolvendo-o em condição mais adequada, ao uso para que a tubulação não seja congelada (PARKER AUTOMATION, 2000). A FIGURA 3 apresenta o esquema da secagem por refrigeração.



Fonte: CTISM.

FIGURA 3 - Diagrama do secador por refrigeração.

A FIGURA 4 exemplifica o tipo de aparelho utilizado na linha de pressão do sistema abordado para a condução dos cilindros atuadores.

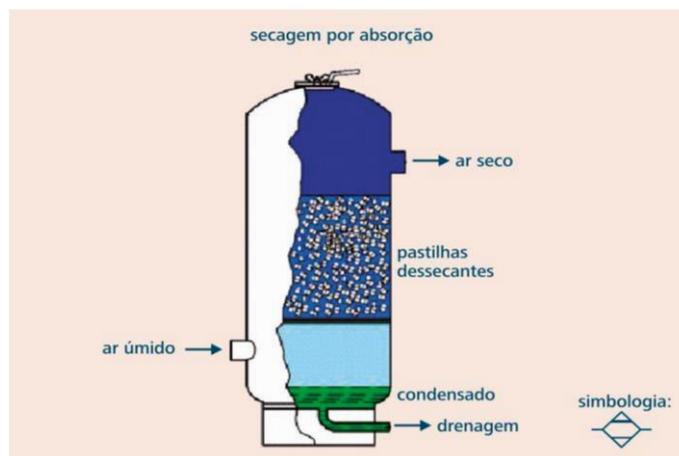


Fonte: Próprio autor.

FIGURA 4 - Secador por refrigeração.

Secagem por absorção: Este método utiliza em um circuito uma substância sólida, líquida ou gasosa para absorver outra substância em mesmo estado. Este processo é também chamado de Processo Químico de Secagem, pois é conduzido no interior de um tanque de pressão onde está presente uma massa higroscópica, insolúvel ou deliquescente que absorve a umidade do ar e as partículas de óleo, processando-se uma reação química, que seca a umidade. A umidade retirada e a substância diluída são depositadas na parte inferior do reservatório, junto a um dreno de onde são eliminados. As principais substâncias utilizadas são: Cloreto de Cálcio, Cloreto de Lítio, *Dry-o-Lite*. (PARKER AUTOMATION, 2000).

Esquema visto na FIGURA 5.



Fonte: CTISM.

FIGURA 5 - Diagrama do secador por absorção.

Na FIGURA 6 observa-se um modelo real de secador por absorção.



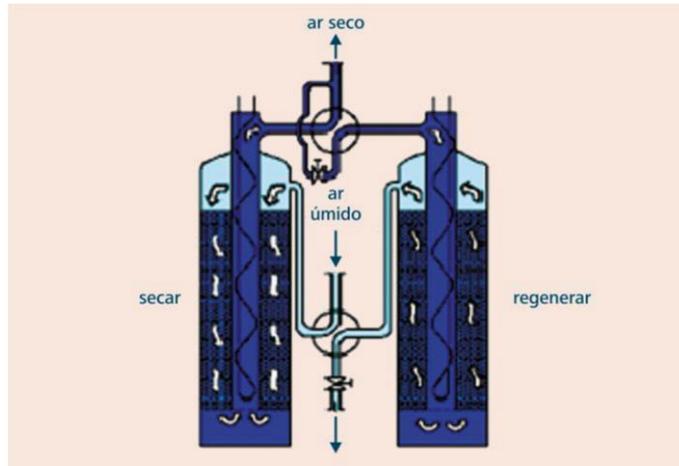
Fonte: METALPLAN.

FIGURA 6 - Secador por absorção.

Secagem por adsorção: semelhante ao processo de absorção, porém não é regenerativo, a substância adsorvente, após estar saturada da umidade, libera a água, quando submetida a um aquecimento regenerativo.

Processo de secagem por adsorção por torres duplas: indicada para aplicações extremas, quando o secador por refrigeração deixa de ser eficaz. As torres são preenchidas com Óxido de Silício – SiO_2 (Silicagel), Alumina Ativada (Al_2O_3), Rede Molecular ($\text{NaAlO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) ou ainda Sorbead, que são materiais com altíssimo poder de atração e retenção das moléculas de água sobre sua superfície. Em geral um secador por adsorção possui dois leitos de secagem, através de uma válvula direcional, o ar úmido é orientado para uma torre, onde ocorrerá a secagem do ar. Na outra torre ocorrerá a regeneração da substância adsorvente, que quase sempre é feita por injeção de ar quente, por resistores e circulação de ar quente, aquecendo a substância, provocaremos a evaporação do líquido adsorvido arrastando a água em forma de vapor para a atmosfera. Por controle manual ou automático, após o término do período de trabalho pré-estabelecido, ocorre a inversão das funções das torres, a que secava o ar passa a ser regenerada e a outra inicia a secagem. Na saída de ar deve ser colocado um filtro para eliminar poeiradas substâncias, e deve ser montado um filtro de carvão ativado antes da entrada do secador, que serve para eliminar os resíduos de óleo, pois este quando entra em contato com as substâncias de secagem causam impregnação e reduzem o poder de retenção de umidade

(PARKER AUTOMATION, 2000). A FIGURA 7 demonstra um esquema de secador de dupla torre.



Fonte: CTISM.

FIGURA 7 - Secador por adsorção dupla torre.

2.4 Rede de Distribuição

A rede de tubulações de ar comprimido é formada por todas as tubulações, que saem do reservatório e passam pelo secador, e orientam o ar comprimido, até os pontos de utilização. Aplicar para cada máquina ou dispositivo automatiza um compressor próprio, sendo possível, porém muito oneroso e exige vários pontos de aplicação, o mais indicado é efetuar a distribuição situando as tomadas, nas proximidades dos utilizadores.

Normalmente as redes de distribuição são formadas de tubos de aço carbono ou galvanizado, ou tubos e conexões de PVC especiais. As funções das redes são simples:

- comunicar a fonte produtora com os equipamentos consumidores;
- funcionar como um reservatório para atender as exigências locais.

O sistema de distribuição deve apresentar pouca perda de pressão entre o compressor e as partes de consumo, mantendo a pressão dentro dos limites toleráveis, conforme com as exigências das aplicações, não pode apresentar escape de ar, o que provoca a perda de energia, e deve apresentar excelente capacidade de realizar a separação de condensado. O projeto e a instalação de uma planta de distribuição de ar comprimido, deve levar em consideração certos preceitos,

pois o não cumprimento aumenta muito a necessidade de sua manutenção (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.4.1 Válvulas de bloqueio na linha de distribuição

As válvulas de bloqueio devem ser previstas na rede de distribuição, principalmente em casos de redes extensas, para que as redes possam ser isoladas para inspeção, manutenção ou modificação caso necessárias, evitando, que outras seções sejam simultaneamente atingidas (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.4.2 Ligações entre os tubos

As ligações dos tubos são feitas por rosca, solda, flange, acoplamento rápido, e a vedação deve ser perfeita, para que não haja vazamento algum, sempre usando a fita veda rosca, pois as imperfeições que podem vir a ter na confecção das roscas podem provocar vazamentos. As ligações por rosca são mais comuns, até por serem mais baratas e de fácil manutenção, porém a união por solda oferece menor possibilidade de vazamento, mas possui um custo inicial maior.

Em tubos com diâmetro nominal até 2” (duas polegadas) – o ideal são uniões roscadas ou com acessórios, para a solda de soquete.

Para tubos acima de 2” – usa-se as uniões para solda de topo e acessórios com montagem entre flanges, principalmente, as válvulas e separadores (FIGURA 8). Em instalações provisórias o indicado é utilizar mangueira, com sistema de acoplamento rápido, apesar de ser mais oneroso que tubulações definitivas (PARKER AUTOMATION, 2000).



Fonte: METALPLAN.

FIGURA 8 - Tubulação de aço flangeada.

2.4.3 Tomadas de ar comprimido

As tomadas de ar comprimido são feitas na parte superior da tubulação principal, para evitar que trabalhem como coletores de condensado. Este tipo de montagem é conhecida como pescoço de cisne (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.4.4 Vazamentos de ar comprimido

O ar comprimido perdido através de pequenos furos com acoplamentos, com folgas e vedações defeituosas, mesmo em redes em perfeitas condições, podem representar 10% ou até mais de toda energia consumida, pelos compressores. Em redes velhas e com manutenção ausente pode chegar a 25%. Eliminar todos os vazamentos é impossível, porém uma boa manutenção, com a verificação das juntas, engates, mangueiras, tubos, válvulas, aperto de conexões, e a eliminação de ramais de distribuição fora de uso diminuem significativamente vazamentos (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.4.5 Tubos

Os tubos podem ser metálicos ou não metálicos.

Metálicos: os tubos metálicos podem ser de latão, cobre, aço inoxidável e aço trefilado, com diâmetro de até 1" usados em instalações especiais, possuem montagens rígidas, e estão presentes em locais onde a temperatura, pressão, agressão química ou física como a abrasão ou

choques, são constantes como é o caso das indústrias bioquímicas. Os tubos de cobre e latão são bem flexíveis (PARKER AUTOMATION, 2000).

Não metálicos: constituídos de materiais sintéticos com boas características químicas, mecânicas e alta flexibilidade. Existem diversas cores no mercado, o que auxilia em montagens complexas, e em diâmetros externos, que variam de 4 a 16 mm, encontrando-os em medidas equivalentes, em polegadas e constituídos de polietileno, poliuretano, nylon e borracha com lona (PARKER AUTOMATION, 2000). Para exemplificar o tipo tubulação adotada tem-se a FIGURA 9, com a tubulação composta em poliuretano.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 9 - Mangueira de poliuretano.

2.5 Unidade de Condicionamento de Ar Comprimido

O último beneficiamento, que o ar comprimido deve sofrer, é a filtragem e regulagem da pressão e introdução de óleo, para a lubrificação de todas as partes mecânicas dos compartimentos pneumáticos. A unidade de condicionamento de ar permite, que os componentes trabalhem, em boas condições prolongando a vida útil dos equipamentos. O ar passa por um beneficiamento que envolve a filtragem, regulagem de pressão e a lubrificação, que reunidos formam o **lubrefil**, passando a manter o ar completamente limpo. A FIGURA 10 apresenta uma unidade de conservação de ar comprimido (BELAN, 2005).



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 10 - Unidade de condicionamento de ar comprimido.

2.5.1 Filtragem de ar

A filtragem do ar consiste em reter impurezas contidas no ar que estão sujeitas às contaminações adquiridas, na rede de distribuição. Após o ar ser utilizado, ele é exaurido para a atmosfera, não devendo conter partículas suspensas. A maioria destas impurezas são retidas, nos processos de preparação, porém partículas pequenas ficam suspensas e são arrastadas pelo fluxo de ar comprimido, agindo como abrasivo nas partes móveis dos elementos pneumáticos, quando solicitada a sua utilização (PARKER AUTOMATION, 2000).

O filtro de ar atua de duas formas:

- pela passagem do ar através de um elemento filtrante, de bronze sinterizado ou malha de nylon;
- pela ação da força centrífuga.

Na parte inferior dos filtros se localizam os drenos, que podem ser manuais ou automáticos, e servem para eliminar o condensado e impurezas acumuladas (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.5.2 Tipos de reguladoras de pressão

Existem dois tipos principais de reguladoras de pressão: com escape e sem escape.

- **Válvula reguladora de pressão com escape:** quando a pressão é regulada para uma pressão mais baixa, possui um orifício de escape que possibilita a redução da pressão.
- **Válvula reguladora de pressão sem escape:** quando a pressão é regulada para uma pressão mais baixa, esta somente reduzirá a pressão se houver consumo de ar comprimido (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.5.3 Manômetros

São instrumentos utilizados para indicar o ajuste da intensidade de pressão nas válvulas, que podem influenciar a força ou o torque de conversores de energia, e indica a pressão relativa, indicadas em PSI, Bar, e outras unidades de pressão (PARKER AUTOMATION, 2000).

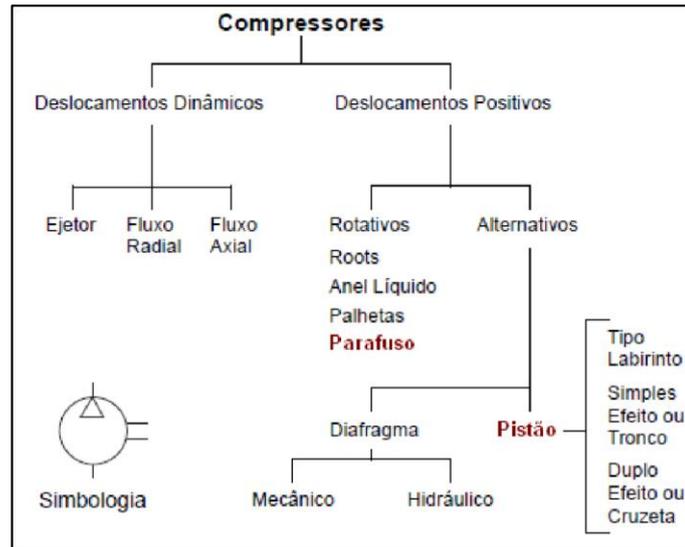
2.5.4 Lubrificação

Os lubrificadores distribuem o óleo através da regulagem de distribuição, gerando uma névoa, que pulveriza o óleo, em todos os pontos de um sistema pneumático, percorrendo todos os tubos, partes de válvulas e cilindros (PARKER AUTOMATION, 2000).

2.6 Compressores

Compressores são máquinas térmicas que transformam energia mecânica em energia de fluxo, cinética, e pelo acúmulo da massa deslocada e são responsáveis, pela produção do ar comprimido. Comprimem continuamente o ar admitido nas condições atmosféricas elevando a uma pressão pré-determinada para utilização (SCHULZ).

A FIGURA 11 apresenta um esquema com os principais tipos de compressores citados.



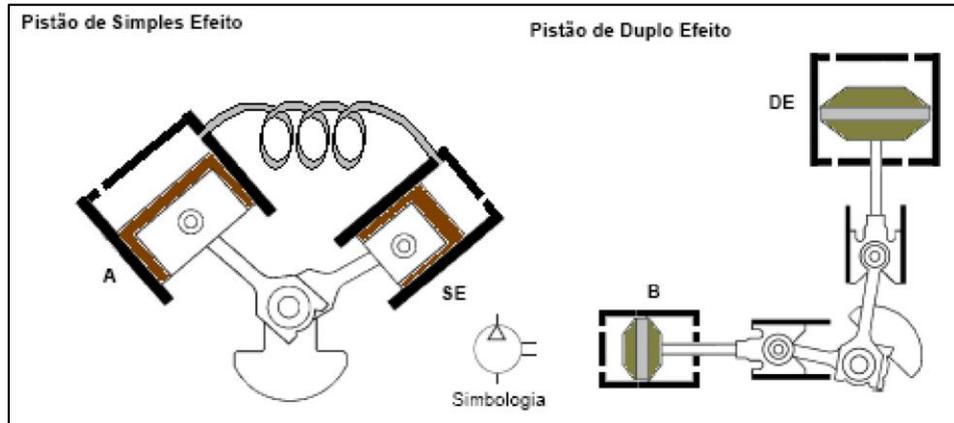
Fonte: SHCULZ.

FIGURA 11 - Classificação dos compressores.

Existem duas classificações, de acordo com o princípio deste trabalho:

- **compressores de deslocamento positivo ou volumétrico:** O ar é admitido em uma câmara Isolda do meio exterior e comprimindo até certa pressão, em que se abre uma válvula de descarga, ou o ar é simplesmente empurrado, para a tubulação ou reservatórios, funcionando com base na redução de volume. São os compressores alternativos de pistões, e outros como de palhetas;
- **compressores de deslocamento dinâmico:** seu princípio de funcionamento consiste na transformação de energia cinética em energia de pressão. Este ar é acelerado, atingindo alta velocidade e conseqüentemente os impulsores transmitem energia cinética ao ar. Em seguida, seu escoamento é retardado através de difusores, obrigando a uma elevação na pressão. O Difusor é uma espécie de duto que ocasiona a diminuição na velocidade de escoamento de um fluido, causando aumento de pressão;
- **Compressores alternativos:** de pistão, de simples efeito, realizam a compressão do ar, em apenas um lado do êmbolo, ou seja, em uma única câmara;
- **Compressor de duplo efeito:** admite e recalca nos dois lados do êmbolo, possui duas câmaras em que ocorre simultaneamente a admissão, em uma e a compressão em outra; A FIGURA 12 apresenta um exemplo desse tipo de compressor.
- **Compressor de múltiplo estágio:** a mesma massa de ar admitida é comprimida duas vezes proporcionando uma melhor eficiência e garante uma limitação, na elevação da temperatura.

Este tipo de compressor possui uma câmara de baixa pressão e uma de alta, existindo entre elas um inter-resfriador mais conhecido por intercooler;



Fonte: SHCULZ.

FIGURA 12 - Esquema de compressores de simples efeito e duplo efeito.

- **Compressores de parafusos:** Este compressor é composto de uma carcaça onde giram dois rotores helicoidais em sentidos opostos. Um dos rotores possui lóbulos convexos, enquanto o outro possui uma depressão côncava e são denominados, respectivamente, macho e fêmea. Nas extremidades existem aberturas para admissão e descarga do ar. O ar à pressão atmosférica ocupa o espaço entre os rotores e, conforme eles giram, ele fica confinado e vai sendo comprimido à medida que este volume diminui até atingir a descarga. Nela existe uma válvula de retenção para evitar a inversão de giro do compressor quando ele estiver parado. AS FIGURAS 13 e 14 mostram um compressor de parafusos e seus componentes. (SCHULZ).



Fonte: SHCULZ.

FIGURA 13 - Frente de um compressor de parafusos.

- 01 – Motor elétrico;
- 02 – Acoplamento motor-unidade;
- 03 – Unidade compressora;
- 04 – Válvula de admissão;
- 05 – Reservatório ar/óleo; 06
- Válvula termostática;
- 10 – Indicador de nível de óleo.

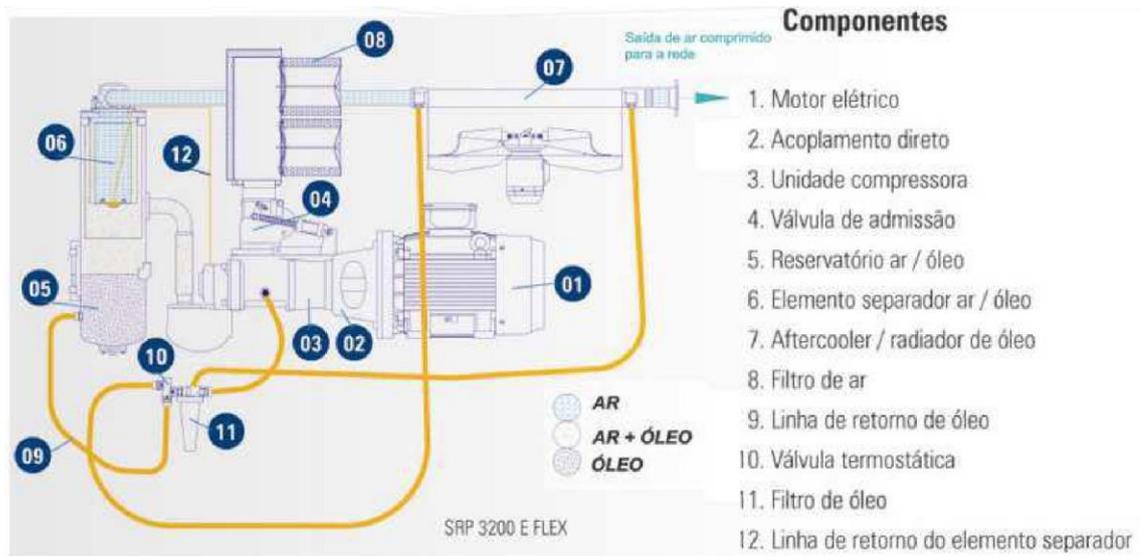


Fonte: SHCULZ.

FIGURA 14 - Traseira de um compressor de parafusos. 07

- Radiador;
- 08 – Filtro de ar (veicular ou convencional);
- 09 – Inversor de frequência; 11
- Ventilador.

Os compressores de parafuso são dotados de resfriador de ar, geralmente, são trocadores de calor do tipo radiadores, existindo também, os trocadores de calor ar-água, que são mais eficientes. A FIGURA 15 mostra a parte de um compressor de parafuso responsável pela secagem do ar, através de um trocador de calor, do tipo radiador.



Fonte: SHCULZ.

FIGURA 15 - Esquema de um compressor de parafuso.

2.6.1 Sistema de refrigeração dos compressores

Este tipo de sistema é usado para remover o calor gerado em atritos diversos e no processo de compressão, e pode ser feito através de água ou ar. Um sistema de refrigeração ideal é aquele, que permite, que a temperatura de ar na saída seja a mesma que foi admitida. A refrigeração dos compressores de deslocamento positivo é feita por duas etapas.

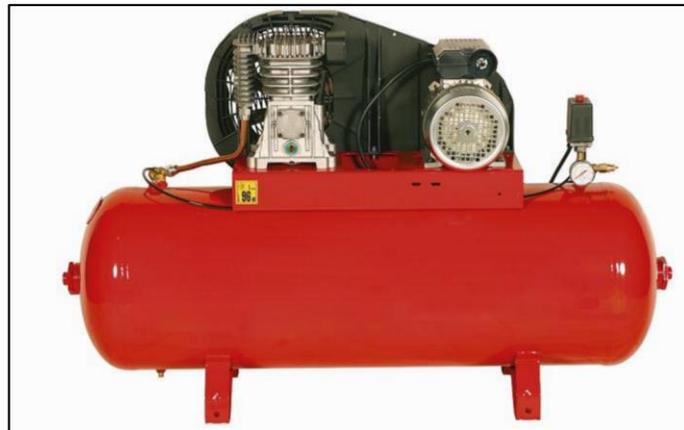
- **Resfriamento dos cilindros de compressão:** o resfriamento pode ser complementado após o processo de compressão. Ao se comprimir o ar, boa parte da energia se converte em calor, os cilindros recebem esta carga térmica, tornando-se necessário resfriar, para que não haja deformação e desgaste dos lubrificantes;
- **Resfriamento intermediário:** remove o calor gerado entre os estágios de compressão mantendo a baixa temperatura das válvulas, do ar que está sendo comprimido e do óleo lubrificante, removendo a umidade através da condensação, também aproxima as condições de compressão do processo isotérmico, apesar das dificuldades em atingi-la devido a

pequenas superfícies de troca de calor. Evitando deformações do compressor, devido a temperatura ser elevada, e aumenta a eficiência do compressor. (BOLLMNN, 1997).

O resfriamento pode ser feito através de ar em circulação, ventilação forçada e água.

Resfriamento a ar: possui maior facilidade operacional e menor custo comparado à refrigeração à água. Indicado para compressores de pequeno a médio porte. Compressores de grande porte podem ser refrigerados à ar, principalmente em instalações em que não há disponibilidade de água para refrigeração, porém não podem trabalhar em locais fechado devido grande parte da potência consumida pelo compressor ser transformada em calor, necessitando assim de muita circulação de ar, e podem ser feita por: circulação ou ventilação forçada. Como exemplo a FIGURA 16, mostra um compressor refrigerado a ar.

- **Circulação:** os cilindros e cabeçotes comumente são auxiliados por hélices nas polias da transmissão, permitindo uma maior troca de calor, através da circulação do ar ambiente;
- **Ventilação forçada:** a ventilação é proporcionada por uma ventoinha, que obriga o ar circular dentro do armário do compressor, resfriando os cabeçotes e o resfriador intermediário. (BOLLMNN, 1997).



Fonte: PAVANI, 2010.

FIGURA16 - Compressor refrigerado a ar.

Resfriamento à água: Comumente empregada em compressores de grande porte, exigindo um melhor resfriamento dos cabeçotes devido permanecerem em contato com o ar aquecido ao final da compressão. Os blocos de cilindros são compostos de paredes duplas entre as quais circula água, que deve ter baixa temperatura e pressão suficiente para evitar a formação de vapor, devendo estar livre de impurezas e conter baixo teor de sais de cálcio e magnésio,

devendo também ser previsto um sistema de proteção contra falta de água, baixa pressão, alta temperatura e possibilidades de entupimentos. (BOLLMNN, 1997).

2.6.2 Critérios para a escolha de compressores

Ao se adquirir um compressor, vários fatores devem ser levados em conta.

Volume de ar fornecido: é a quantidade de ar fornecida pelo compressor, e é indicado em m^3/h ; m^3/min ; PCM.

Pressão de regime: é a pressão fornecida pelo compressor até o ponto de consumo.

Pressão de trabalho: pressão necessária nos pontos de trabalho, variando de 6 a 8 bar em sistemas pneumáticos comuns, e é considerada como pressão normalizada ou pressão econômica.

A pressão nos sistemas pneumáticos possui um valor constante e para garantir um funcionamento confiável e preciso, depende de:

- A velocidade dos cilindros e a rotação dos motores pneumáticos;
- As forças desenvolvidas pelos elementos pneumáticos;
- Os movimentos temporizados dos elementos de trabalho e comando.

Acionamento: é feito por um motor elétrico ou motores a explosão, de acordo com as necessidades fabris, porém na maioria dos casos aciona-se com motor elétrico, excetuando-se os compressores móveis, que geralmente são acionados, com motor a explosão, usando como combustível gasolina ou óleo diesel. Em unidades, que necessitam de grandes quantidades de ar comprimido como, as industriais encontra-se compressores acionados por turbinas a vapor com potências de 400 cv ou mais.

Regulagem: a regulagem da pressão serve para combinar o volume fornecido com o consumo de ar dos compressores, normalmente é estabelecida uma pressão máxima e mínima, existindo vários tipos de regulagem:

- regulagem de marcha em vazio;
- regulagem de carga parcial; □ regulagem intermitente.

Sendo a regulagem intermitente a mais empregada. É regulagem intermitente devido o compressor funcionar em dois campos, carga máxima e parada total. Segundo Bollmnn (1997):

Ao alcançar a pressão máxima, o motor acionador do compressor é desligado e, quando a pressão chega ao mínimo, o motor é ligado e o compressor trabalha normalmente. A frequência de comutação pode ser regulada em um pressostato e, para que os períodos de comando possam ser limitados a uma média aceitável, é necessário um grande reservatório de ar comprimido.

Manutenção do compressor: A manutenção deve ser seguida de acordo com o manual do fabricante e montado um plano de manutenção periódica no qual pode ser verificado qual o melhor sistema de manutenção e controle do compressor. (BOLLMNN, 1997).

2.7 Contaminação do Ar Atmosférico

O ar atmosférico é uma mistura de gases como Oxigênio e Nitrogênio, e contém três tipos básicos de contaminantes: água, óleo e poeira.

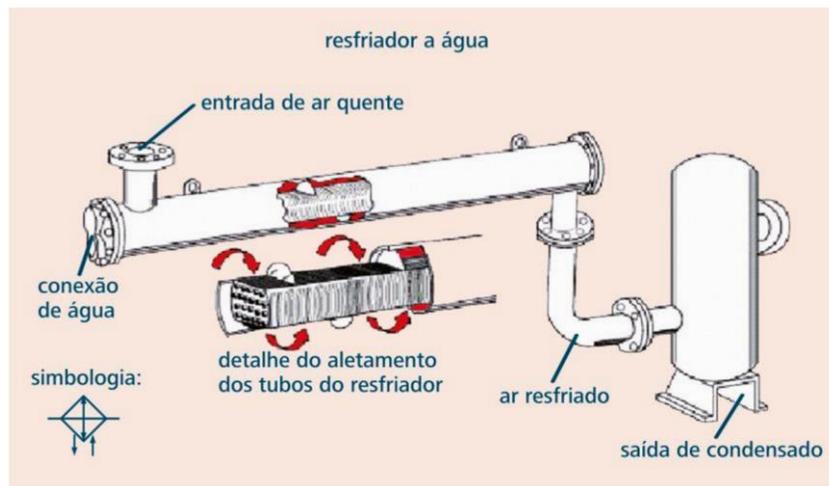
Água-óleo-poeira: as partículas de poeira são abrasivas, e o óleo queimado na lubrificação do compressor, é responsável por manchas nos produtos, a água é responsável por vários outros inconvenientes. Ao admitir o ar, o compressor aspira também, todos os compostos existentes, e, ao comprimir, adiciona a esta mistura calor e óleo lubrificante. A água que vier existir nesse ar sofrerá condensação e conseqüentemente ocasionará problemas como:

- oxidação da tubulação e de componentes pneumáticos;
- destruição da película lubrificante existente entre as superfícies em contato, acarretando desgaste e reduzindo a vida útil das peças como válvulas, cilindros;
- prejudica a produção de peças;
- carregamento de partículas sólidas que prejudicarão o funcionamento dos componentes pneumáticos;
- aumenta a ocorrência de manutenção;
- impossível a aplicação em equipamentos de pulverização;
- provoca golpes de aríete, que são variações de pressão decorrentes de perturbações que se imponha ao fluxo de líquidos em condutos como abertura ou fechamento de válvulas nas superfícies adjacentes.

É importante que a água e resíduos de óleo sejam retirados do ar, a fim de evitar a redução de capacidade e a vida útil de todos os dispositivos e máquinas pneumáticas. É sabido que quanto maior a temperatura maior será a quantidade de água que o ar atmosférico pode conter. Portanto, é importante que grande parte da água e resíduos de óleo sejam removidos do ar para evitar a redução de capacidade e vida útil de todos os dispositivos e máquinas pneumáticas. (BOLMNN, 1997).

2.8 Resfriador Posterior (*aftercoller*)

O resfriador posterior (FIGURA 17) é um trocador de calor usado para resfriar o ar comprimido, que permite retirar em torno de 75% a 90% do vapor de água existente no ar, retira também vapores de óleo, e evita que a linha de distribuição sofra dilatação, causada pela alta temperatura de descarga do ar. Para resolver o problema inicial da água nas instalações de ar comprimido o equipamento mais indicado e eficaz é o resfriador posterior, instalado entre a descarga do compressor, que se localiza a maior temperatura e o reservatório. (BOLLMNN, 1997).



Fonte: PAVANI, 2010.

FIGURA 17 - Resfriador posterior a água com separador de umidade.

Na FIGURA 18 encontra-se um exemplo real de resfriador posterior.



Fonte: PARKER AUTOMATION, 2000.

FIGURA 18 - Resfriador de ar com separador de umidade.

2.9 Atuadores Pneumáticos

Os atuadores pneumáticos são dispositivos que convertem a energia existente no ar comprimido em trabalho, e são responsáveis pela execução do trabalho realizado pelo ar comprimido, e podem ser divididos em lineares e rotativos. (REIS, 2004). Na FIGURA 19 é apresentado o modelo de atuador pneumático utilizado no processo.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 19 - Cilindro pneumático.

Dos principais tipos de atuadores que se encontram comercialmente pode-se ter: atuadores lineares e rotativos.

Atuadores lineares: são formados por componentes, que convertem a energia pneumática em movimento angular ou linear. De acordo com os movimentos realizados:

velocidade, força, curso, haverá um mais adequado para cada função. São representados pelos cilindros pneumáticos.

Atuadores rotativos: Sua função é Converter a energia pneumática em momento de torque contínuo ou limitado. São os motores pneumáticos e oscilantes. (REIS, 2004).

2.10 Tipos de Cilindros Pneumáticos

Os cilindros pneumáticos podem ser classificados pelo tipo de efeito ou pelo tipo de construção. (REIS, 2004).

Cilindro simples efeito ou ação: são acionados pelo ar comprimido de apenas um lado, trabalham em um único movimento, para avanço ou retorno. O retorno é feito por mola ou pela ação de uma força externa, e possuem curso limitado, pelo comprimento da mola, máximo de 125 mm, para os maiores diâmetros. (REIS, 2004). A FIGURA 20 exemplifica a haste de um atuador simples ação.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 20 - Cilindros simples ação.

Cilindro duplo efeito ou dupla ação: produz trabalho em ambos os sentidos de movimento usando o ar comprimido, porém existe uma diferença entre os esforços desenvolvidos, a área da câmara traseira é maior, do que a da câmara dianteira, sendo esta a sua principal característica. É o tipo de cilindro mais usado na indústria. Possui algumas derivações em sua construção:

- haste passante – oca ou com regulagem;
- duplex contínuo (tandem);
- duplex geminado (múltiplas posições);
- impacto;
- tração por cabos;
- embolo magnético sem haste.

A FIGURA 21 apresenta um modelo real de cilindro de dupla ação.

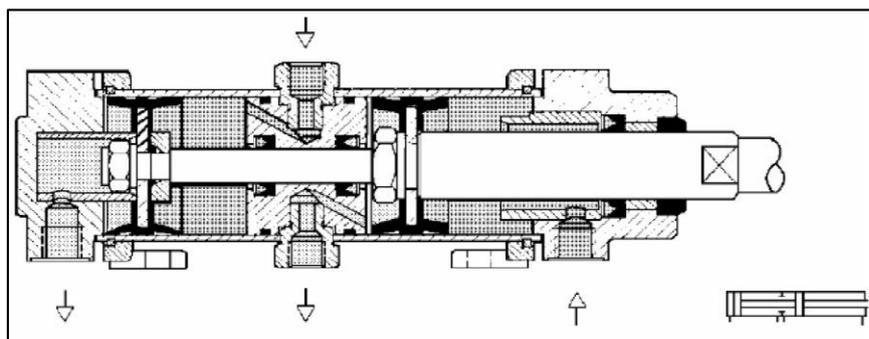


Fonte: Próprio autor.

FIGURA 21 - Cilindro de dupla ação.

Cilindro de haste dupla ou passante: este cilindro possui duas hastes unidas ao mesmo êmbolo. Enquanto uma das hastes realiza o trabalho, pode-se usar a outra, no comando de fins de curso ou outros dispositivos, que não podem ser posicionados ao longo da haste oposta. Na versão haste oca, é usado para a fixação de elemento de vácuo, eletroímãs e para a passagem de fluídos, como ar comprimido para garras. (REIS, 2004).

Cilindro duplex ou tandem: é empregado em sistemas de sincronismo de movimento, sendo as câmaras intermediárias preenchidas com óleo. Apresenta dois cilindros de dupla ação formado uma única unidade, é dotado de dois êmbolos unidos, por uma haste comum, separados entre si, por um cabeçote intermediário, possui entradas de ar independentes. São aplicados onde se necessita de uma maior força, e não se dispõe de espaço, para comportar um cilindro de diâmetro maior e nem tem como aumentar a pressão de trabalho. (REIS, 2004). A FIGURA 22 apresenta um desenho de cilindro duplex.



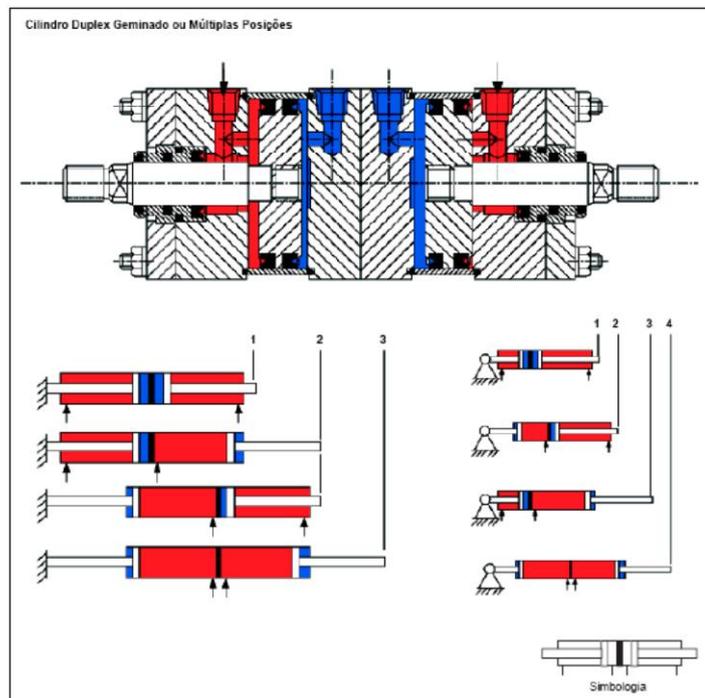
Fonte: REIS, 2004.

FIGURA 22 - Cilindro pneumático duplex contínuo ou tandem.

Cilindro duplex geminado ou múltiplas posições: formado por dois cilindros de dupla ação, unidos entre si através de flanges traseiras, cada cilindro possui entradas de ar comprimido independente. Esta montagem possibilita a obtenção de 3 ou 4 posições distintas:

- 3 posições – obtida com o uso de dois cilindros com o mesmo curso; □
- 4 posições – obtida com o uso de cilindros de cursos diferentes.

As posições são obtidas em função da combinação entre as entradas de ar comprimido e os cursos correspondentes. (PARKER AUTOMATION, 2000). A FIGURA 23 apresenta um esquema em desenho de cilindro geminado duplex.



Fonte: PARKER AUTOMATION, 2000.

FIGURA 23 - Cilindro pneumático geminado duplex ou de múltiplas posições.

Cilindro telescópico ou de múltiplos estágios: esse tipo de cilindro é empregado quando o espaço para a sua instalação é limitado e necessita-se de um conjunto de vários cilindros embutidos, um dentro do outro, sendo que o cilindro de menor diâmetro limita a força do conjunto. Muito usado na hidráulica. (PARKER AUTOMATION, 2000).

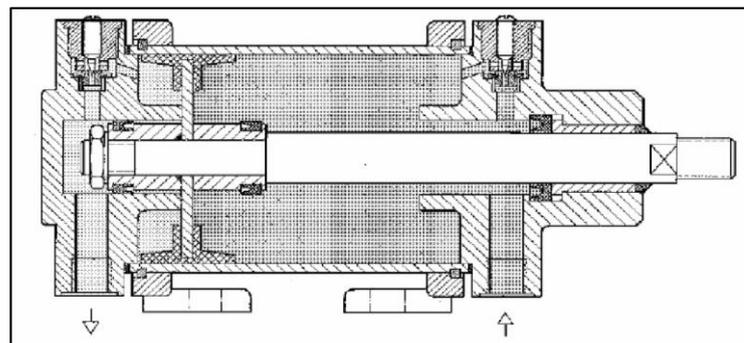
Cilindros normalizados: o uso de cilindros pneumáticos normalizados como os da norma ISO 6431, permite que ao existir um cilindro instalado, possa ser substituído por outro

de qualquer fabricante proporcionando intercambialidade a nível mundial de equipamentos, como a ISO 6431 e DIN 24335. Os cilindros especiais somente poderão ser substituídos por outro do mesmo fabricante. (PARKER AUTOMATION, 2000).

Cilindros especiais: normalmente construídos conforme critérios do fabricante, são cilindros classe leve ou pesada. (PARKER AUTOMATION, 2000).

Cilindros especiais quanto à forma: podem ser ovais (anti-giro) ou retangulares (fixadores). (PARKER AUTOMATION, 2000).

Cilindros com amortecimentos: são projetados para controlar movimentos de grandes massas e desacelerar o pistão nos fins de curso, sua vida útil é maior em relação aos tipos de cilindros sem amortecimento. O amortecimento só é aplicado quando necessário e em cilindros que possuem diâmetros superiores a 30 mm e cursos acima de 50 mm. O amortecimento é formado pelo aprisionamento de certa quantidade de ar no final do curso. Porém é mais lento, tendo o inconveniente de levar mais tempo, para completar cada ciclo e existir perdas a cada desaceleração do pistão. (REIS, 2004). A FIGURA 24 apresenta um desenho em cortes de um cilindro com amortecimentos.



Fonte: REIS, 2004.

FIGURA 24 - Cilindro com amortecimentos.

2.11 Válvulas Pneumáticas

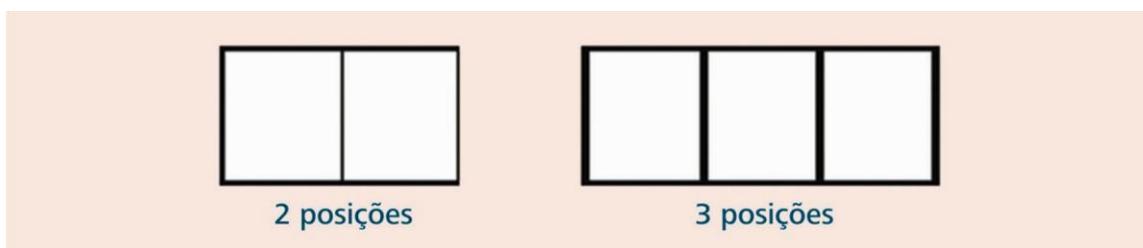
Para que os cilindros pneumáticos desenvolvam suas funções de forma produtiva devem ser alimentados ou descarregados convenientemente conforme o sistema programado. Os elementos que orientam o fluxo de ar, impõem bloqueios, controlando a intensidade de vazão ou pressão sendo denominadas de válvulas pneumáticas e podem ser classificadas como:

- válvulas de controle direcional;
- válvulas de bloqueio (anti-retorno);
- válvulas de controle de fluxo;
- válvulas de controle de pressão. (BELAN, 2005).

2.11.1 Válvulas de controle direcional

Este tipo de válvula tem por função orientar a direção, que o fluxo de ar deve seguir, para que o trabalho proposto seja. Para que se possa caracterizar uma válvula direcional, deve-se conhecer o número de posições, número de vias, vazão, tipo de acionamento ou comando, tipo de retorno e tipo construtivo da válvula. (BELAN, 2005).

Número de posições: refere-se a quantidade de manobras distintas, que uma válvula direcional pode executar ou permanecer sob a ação do seu acionamento. De acordo com as normas CETOP (Comitê Europeu de Transmissão Óleo – Hidráulica e Pneumática) e ISO (Organização Internacional de Normalização), as válvulas direcionais são sempre representadas por um retângulo, dividido em quadrados, no qual o número de quadrados representados na simbologia é igual ao número das posições da válvula, representando a quantidade de movimentos que executam através de acionamentos. O número de quadrados da simbologia, demonstrado na FIGURA 25, representa a quantidade de movimentos que executa, através de acionamentos, e é igual ao número de posições da válvula. (BELAN, 2005).



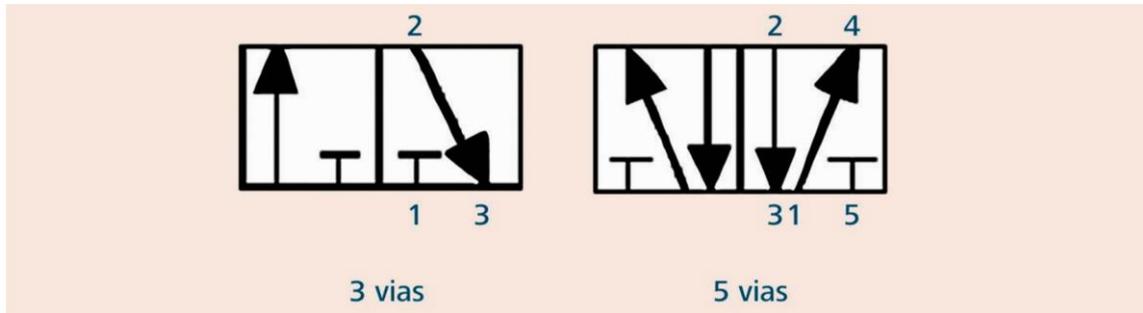
Fonte: CTISM.

FIGURA 25 - Exemplos de representação de válvulas.

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

Em 1976, foi proposto pelo CETOP um método universal de identificação dos orifícios das válvulas, através de identificação numérica, aos fabricantes de equipamentos pneumáticos,

cuja finalidade da codificação é fazer com que o usuário tenha uma fácil instalação de componentes, relacionando as marcas dos orifícios no circuito, com as marcas contidas nas válvulas (FIGURA 26). (BELAN, 2005).



Fonte: CTISM.

FIGURA 26 - Exemplos de representação de válvulas.

Tipos de acionamentos ou comandos: os acionamentos podem ser musculares, mecânicos, pneumáticos, elétricos, combinados ou normalizados, escolhidos de acordo, com a necessidade da aplicação da válvula direcional. As válvulas necessitam de um agente externo ou interno que desloque suas partes de uma posição para outra, alterando as direções de fluxo e efetuando os bloqueios para que o escape seja liberado. (REIS, 2004).

Vazão das válvulas: é o volume de fluído, fornecido pela válvula em uma unidade de tempo (l/min, m³/min), podendo variar, mesmo entre válvulas de mesma bitola, e dependem principalmente da forma como foi construída. O Coeficiente de Vazão é a forma mais técnica de se obter a vazão de uma válvula. (REIS, 2004).

Os tipos de comando de retorno das válvulas precisam de uma ação para que efetuem a mudança de posição, ou voltem para a posição inicial. Essa Ação pode ser mecânica, elétrica ou ainda combinada.

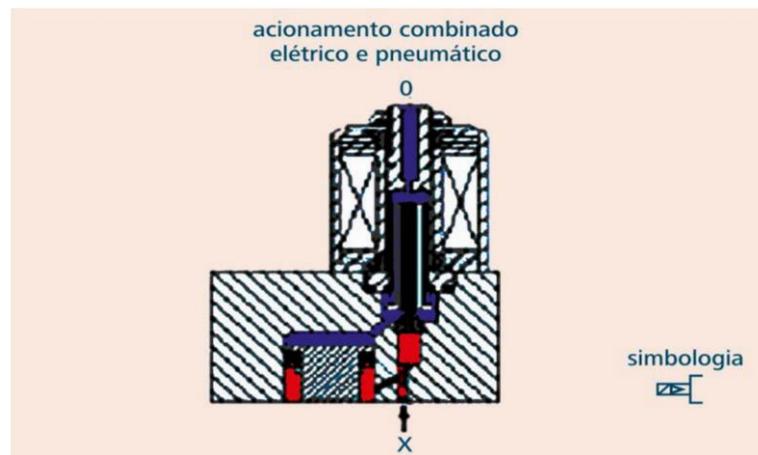
Retornos mecânicos: pode ser efetuado através de:

- **Mola:** a mola previamente comprimida libera a energia armazenada pela compressão, efetuando o retorno da válvula à posição inicial.
- **Trava:** mantém a válvula na posição de manobra, e uma ação faz a válvula retornar à posição inicial, utilizada junto com acionamentos musculares.

Retornos elétricos: a operação é feita através de sinais elétricos, oriundos de chaves afim de curso, pressostatos, e outros como temporizadores. A rapidez dos sinais de comando é

o principal fator, quando o local do emissor e do receptor se encontram distantes e os circuitos são complicados. (REIS, 2004).

Retornos combinados: utiliza a própria energia do ar comprimido para acionar as válvulas, fazendo com que o ar tenha ação sobre o comando de válvula. Os acionamentos combinados são classificados como servo-piloto comando prévio e indireto. Como mostra a FIGURA 27, um exemplo de válvula com acionamento combinado.



Fonte: CTISM.

FIGURA 27 - Acionamento elétrico e pneumático.

2.12 Válvulas de Bloqueio

As válvulas de bloqueio servem para impedir o fluxo de ar comprimido, em um determinado sentido, para que haja um livre fluxo, no sentido oposto, como a retenção, escape rápido, isolamento (OU) e simultaneidade (E).

2.12.1 Válvula de retenção

As válvulas de retenção impedem completamente a passagem de ar em uma direção, sendo que na direção contrária, o ar flui com a mínima queda de pressão, o fechamento em um sentido pode ser executado, por cone, esfera, placa ou membrana. A FIGURA 28 apresenta um desenho de uma válvula de retenção com mola. Perceba que na primeira parte o sentido vai de 1 para 2 e há passagem normal de fluxo, já na segunda metade o fluxo é impedido de efetuar o caminho inverso.



Fonte: CTISM.

FIGURA 28 - Válvula de retenção.

2.12.2 Válvula de escape rápido

Usada para aumentar a velocidade de deslocamento de um pistão, a pressão no interior de um lado da câmara e a resistência oferecida, pelo ar residual cai bruscamente, e o ar flui diretamente para a atmosfera, fazendo que, do outro lado da câmara, o pistão adquira uma elevada velocidade. (PARKER AUTOMATION, 2001). A FIGURA 29 exibe um modelo real de válvula de escape rápido ou ERS.

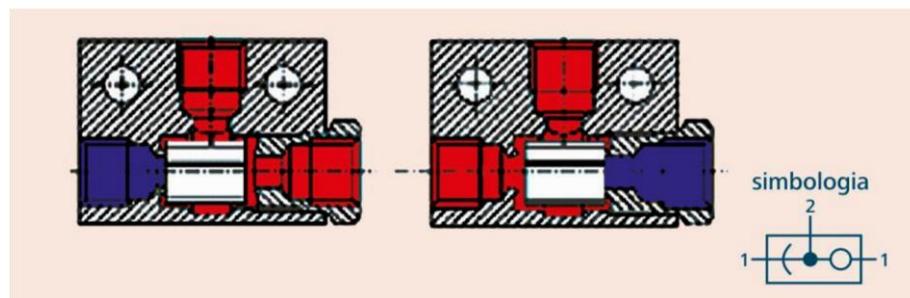


Fonte: Próprio autor.

FIGURA 29 - Válvula de escape rápido ERS.

2.12.3 Válvula de isolamento (OU)

Esse tipo de válvula é necessária quando se deseja acionar um cilindro com a alimentação de ar comprimido proveniente de mais de um lugar. Possui três orifícios: dois de entrada de pressão e um ponto de utilização, e ao se enviar um sinal por uma das entradas, a entrada oposta é automaticamente vedada e o sinal emitido flui até a saída de utilização. Em casos de pressão diferentes, a pressão de maior valor impõe bloqueio, no lado da pressão, de menor intensidade. (REIS, 2004). A FIGURA 30 exibe um desenho do funcionamento de uma válvula de isolamento.

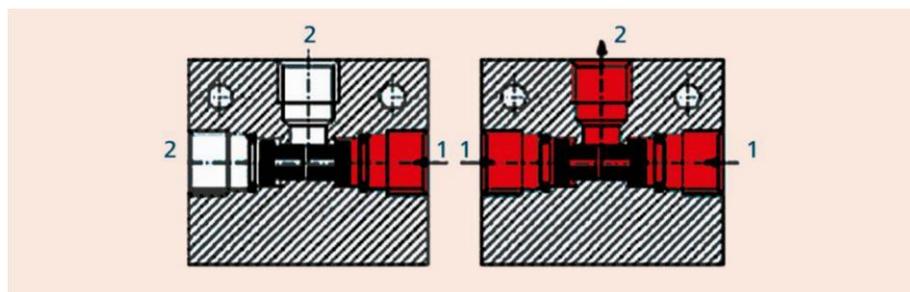


Fonte: PARKER AUTOMATION, 2000.

FIGURA 30 - Válvula de Isolamento.

2.12.5 Válvula de simultaneidade (E)

Esse tipo de válvula é dotado de três orifícios no corpo, sendo duas entradas de pressão e um ponto de utilização. A diferença é que o ar chega ao ponto de utilização apenas quando as duas entradas de pressão estão sendo alimentadas. No caso de simultaneidade, a que chegar primeiro, ou então a de menor valor, se autobloqueará; dando assim, passagem ao outro sinal. Os sinais podem ter valores iguais ou diferentes, mas terão que existir dois sinais para que a válvula de simultaneidade permita a passagem do sinal. (REIS, 2004). A FIGURA 31 exibe um desenho do funcionamento de uma válvula de simultaneidade ou E.



Fonte: REIS, 2004.

FIGURA 31 - Válvula de simultaneidade ou elemento E.

2.12.6 Válvulas de controle de fluxo

São usadas para diminuir a quantidade de ar que passa por uma tubulação, bastante usada para regular a velocidade em atuador.

Válvulas de controle de fluxo variável unidirecional: é formada por uma válvula de retenção e um dispositivo de controle de fluxo, montados em um único conjunto. O fluxo, pode se comportar de duas formas distintas, no fluxo controlado, o ar comprimido é bloqueado pela válvula de retenção em um sentido pré-fixado, sendo obrigado a passar restringido pelo ajuste fixado no dispositivo de controle. No fluxo livre, o ar possui livre vazão pela válvula de retenção no sentido oposto ao do fluxo controlado. Com o dispositivo de ajuste completamente acionado, esta válvula passa a funcionar como uma válvula de retenção. (PARKER AUTOMATION, 2000). A FIGURA 32 exibe um modelo real de uma válvula de controle de fluxo unidirecional.

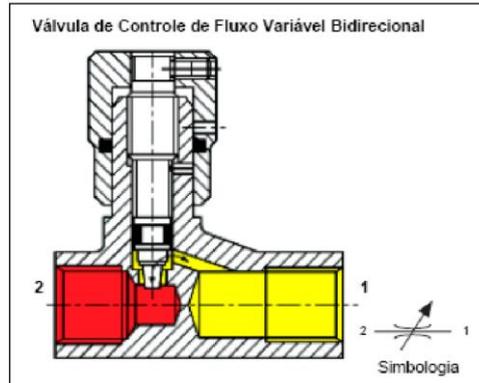


Fonte: Próprio autor.

FIGURA 32 - Válvula de controle de fluxo unidirecional.

Válvulas de controle de fluxo bidirecional: a quantidade de ar que entra por um lado ou pelo outro é controlada através de um parafuso de acordo com a proximidade ou afastamento desse em relação ao assento. Por consequência, é permitido um maior ou menor fluxo de passagem de ar comprimido. (PARKER AUTOMATION, 2000).

Na FIGURA 33 pode ser vista uma válvula de controle de fluxo bidirecional.

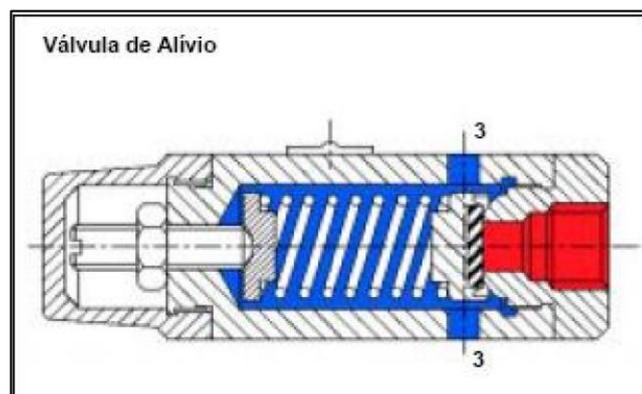


Fonte: PARKER AUTOMATION, 2000.
 FIGURA 33 - Válvula de controle de fluxo bidirecional.

2.12.7 Válvulas de controle de pressão

A válvula de controle de pressão pneumática tem como função influenciar ou ser influenciada pela intensidade da pressão de um sistema. (REIS, 2004).

Como válvula de controle de pressão cita-se as reguladoras de pressão, as limitadoras de pressão e as válvulas de sequência e as válvulas de alívio, que pode ser enquadrada no campo das válvulas limitadoras de pressão, cuja a função é limitar a pressão de um reservatório, compressor dentre outros como linha de pressão, evitando a sua elevação acima de um ponto ideal. Uma pressão pré-determinada é ajustada através de uma mola calibrada que é comprimida por um parafuso, quando a pressão atinge a pressão pré-determinada, a válvula se abre e o ar pode escapar para a atmosfera. (PARKER AUTOMATION, 2000 e BELAN, 2005). A FIGURA 34 apresenta o desenho do funcionamento de uma válvula de alívio.



Fonte: PARKER AUTOMATION, 2001.
 FIGURA 34 - Válvula de alívio.

2.13 Sensores

Os sensores fazem parte dos elementos eletrônicos de sinal, que são responsáveis por transformar grandezas físicas, como pressão e temperatura, em sinal compatível, para os elementos de processamento de sinal ou de controle, e sua principal vantagem é que não precisam estabelecer contato direto com o objeto a ser detectado, evitando desgastes ou contaminações. Os tipos de sensores mais comuns são os magnéticos, óticos, indutivos e barométricos. (BELAN, 2005). Algumas das características desses sensores são apresentadas na TABELA 5 - Características funcionais dos tipos de sensores citados.

TABELA 5 - Características funcionais dos tipos de sensores citados.

SENSORES				
Características Técnicas	Magnéticos	Óticos	Indutivos	Barométricos #
Distância máquina de deteção (alcance) [mm]	Instalados no cilindro	100 a 400* 1.500 a 2.500** Até 10.000***	0,8 a 10	Instalados nas extremidades dos cilindros
Frequência [Hz]	500 a 2.000	200 a 400* 200** 50***	250 a 5.000	1 a 10
Materiais Detectáveis	Independente do material	Qualquer tipo	Condutores de eletricidade	Independente do material
Tensões [V]	Até 220 V (CA ou CC)	10 a 30 VCC	10 a 30 VCC 40 a 240 VAC	250 VCA 48 VCC
Corrente [mA]	200 a @.000	100 a 200	10 a 30+ 5 a 200 ++	2.500 (CA) 100 (CC)
Temperatura de Operação [°C]	-20 a 60 -5 a 120	0 a 60	-25 a 70	-15 a 60

Fonte: BELAN, 2005.

Onde:

* representa sensores óticos de reflexão difusa;

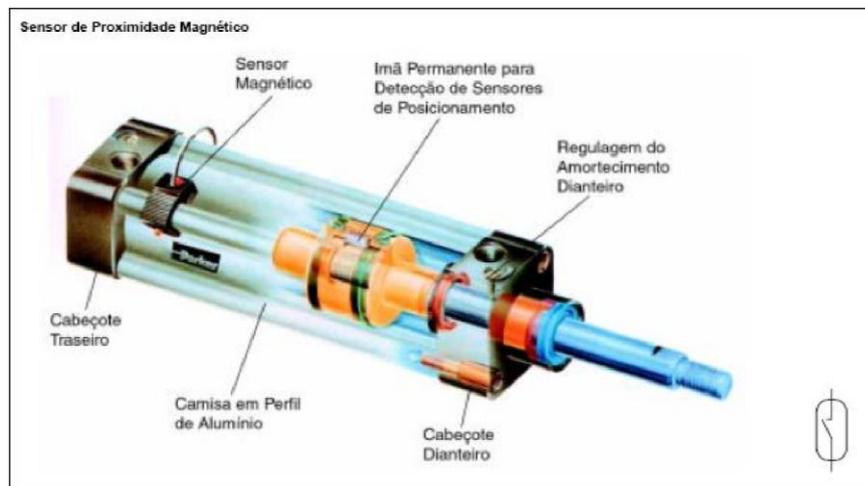
** sensores óticos de retro reflexão;

*** sensores óticos de barreira;

+ sensores indutivos de corrente contínua; ++
sensores indutivos de corrente alternada e #
captadores de queda de pressão no cilindro.

2.13.1 Sensores magnéticos

Sensores magnéticos apresentam uma construção simples, em que duas lâminas de contato elétrico que encontram-se alojadas no interior de uma ampola contendo gás inerte, podem detectar somente a presença de materiais metálicos e magnéticos. De acordo com Belan (2005), “Estes dispositivos são montados externamente nos cilindros pneumáticos, e os êmbolos devem conter uma cinta magnética, que ao passar pela região do cilindro onde está posicionado o sensor, gere um campo capaz de fechar o contato entre as duas lâminas, produzindo assim um sinal de corrente elétrica de saída”. Pode-se visualizar essa construção na FIGURA 35.



Fonte: PARKER AUTOMATION, 2001.

FIGURA 35 - Sensor magnético instalado em um cilindro.

2.13.2 Sensores óticos

Sensores óticos possuem a vantagem da possibilidade de detectar presença de objetos desde pequenas distâncias, até consideradas grandes. Qualquer tipo de objeto que não seja transparente pode ser detectado por um sensor ótico. São construídos por um emissor de luz, geralmente luz infravermelha, e por um receptor. (PARKER AUTOMATION, 2001). A localização dos elementos emissor e receptor e também da superfície refletora é o que diferencia o tipo construtivo podendo ser: sensores de barreira, reflexivos e retroreflexivos.

Sensor ótico de barreira: se caracteriza quando um objeto se coloca entre os dois elementos do sensor, interrompendo a passagem de luz entre eles, o que provoca a emissão de

um sinal de saída. (PARKER AUTOMATION, 2001). A FIGURA 36 apresenta um modelo real de sensor de barreiras.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 36 - Sensor óptico de barreira.

Sensor reflexivo: o emissor e o receptor de luz são montados em um único corpo, o que reduz espaço, facilitando a montagem entre as partes móveis dos equipamentos, existindo o inconveniente de a distância de detecção ser reduzida, pois a luz transmitida pelo emissor reflete no material a ser detectado, para então penetrar no receptor, que posteriormente emite o sinal elétrico de saída. (PARKER AUTOMATION, 2001). A FIGURA 37 apresenta um modelo real de sensor reflexivo.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 37 - Sensor ótico reflexivo.

Sensor ótico retro-reflexivo: o emissor e o receptor são montados em um mesmo corpo como no reflexivo, porém aqui a reflexão é dada, por uma superfície refletora, que não é a peça. Sua aplicação é indicada quando o objeto a ser detectado apresenta más características de reflexão. (BELAN, 2005). A FIGURA 38 apresenta um modelo real de sensor retro-reflexivo.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 38 - Sensor ótico retro-reflexivo.

2.13.3 Sensores indutivos

Esses sensores são capazes de detectar somente a presença de materiais metálicos condutores de eletricidade. Um solenoide produz um campo eletromagnético oscilatório no espaço externo ao cabeçote do sensor. (BELAN, 2005).

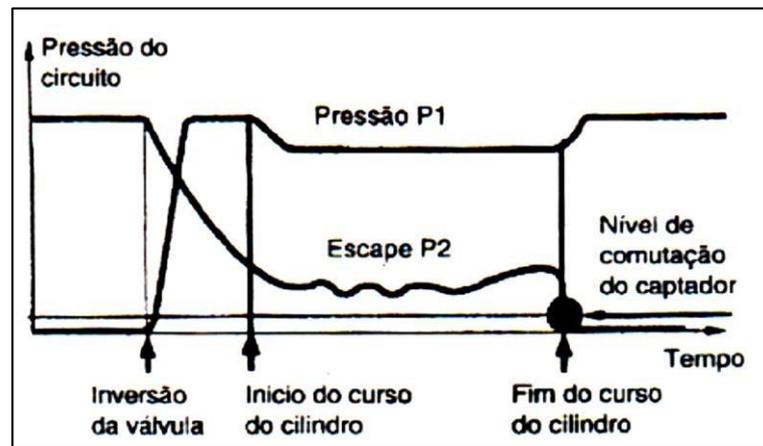


Fonte: Próprio autor.

FIGURA 39 - Sensor indutivo.

2.13.4 Sensores barométricos

Nos sensores barométricos, o sinal é produzido, pela pressão exercida sobre uma membrana, atuando sobre um módulo de comutação pneumático, elétrico ou eletrônico. A FIGURA 40 apresenta esquematicamente um sensor barométrico, onde P1 e P2 são as pressões na câmara do cilindro. (BELAN, 2005).



Fonte: BELAN, 2005.

FIGURA 40 - Sensor barométrico.

2.14 Chaves Fim de Curso

As chaves de fim de curso são também comutadores elétricos de entrada de sinais acionados mecanicamente. Seu acionamento pode ser por meio de um rolete mecânico ou de um gatilho. São localizadas no decorrer do percurso de cabeçotes móveis de máquinas e equipamentos industriais, nas hastes de cilindros pneumáticos. (PARKER AUTOMATION, 2001). A FIGURA 41 apresenta uma chave fim de curso acionada por rolete mecânico.



Fonte: Próprio autor.

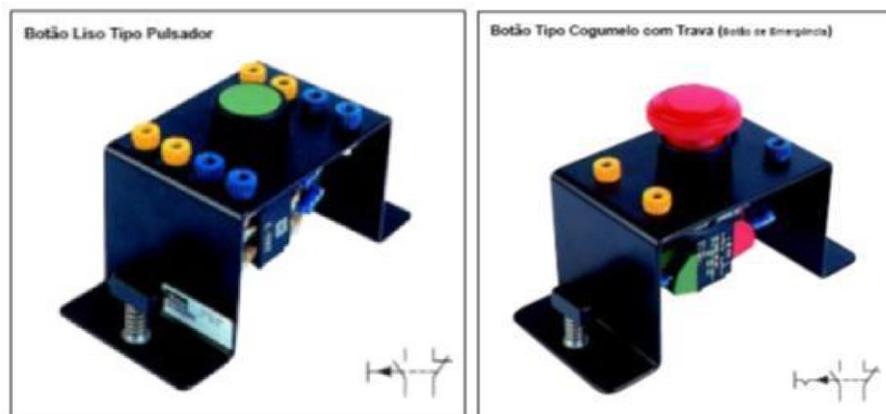
FIGURA 41 - Chave fim de curso acionada por rolete mecânico.

2.15 Botoeiras

São chaves elétricas acionadas manualmente, que geralmente, apresentam um contato aberto e outro fechado, podendo ser do tipo pulsadoras, ou com trava, de acordo com o sinal a ser enviado aos elementos de comando do sistema.

Botoeiras pulsadoras: invertem seus contatos mediante o acionamento de um botão e, com a ação de uma mola, retornam à posição de origem quando o acionamento cessa.

Botoeiras com trava: também invertem seus contatos mediante o acionamento de um botão, porém permanecem travadas, mesmo depois de cessado o acionamento. Para retornar à posição inicial, necessita de um novo acionamento. Ambas as botoeiras podem ser visualizadas na FIGURA 42:



Fonte: PARKER AUTOMATION, 2001.

FIGURA 42 - Fotos de dois tipos botoeiras, com trava e pulsadora.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta etapa discrimina a realização das alterações na prática, lucidando o referencial teórico já abordado.

3.1 Materiais

Para a realização das mudanças executadas na impressora Martin 924 foram utilizados os seguintes itens:

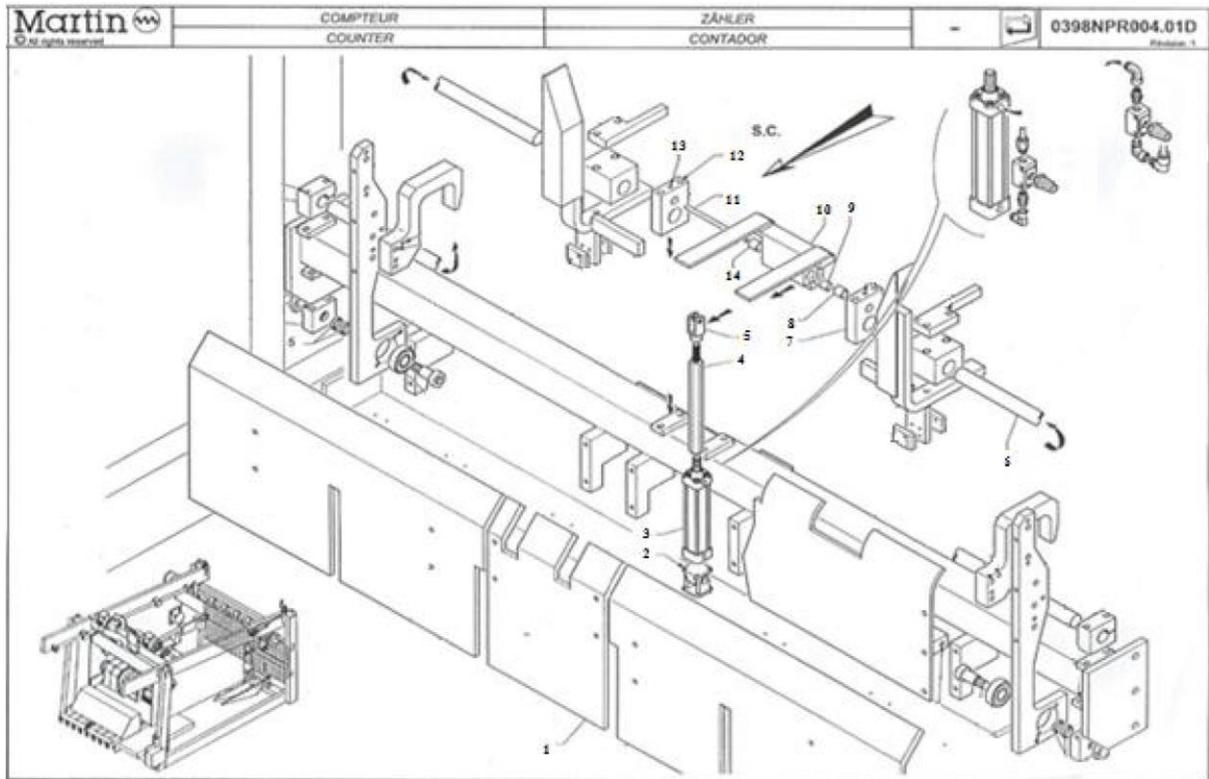
- 1 chapa de aço inox de 5mm tipo 304;
- 2 atuadores pneumáticos de dupla ação de 120 x 50 mm;
- 4 metros de mangueiras de poliuretano de 8 mm;
- 2 válvulas de escape rápido;
- 2 conexões “T” união de 8mm;
- 4 cotovelos orientáveis de 90° com rosca BSPT; □ 2 válvulas de controle de fluxo unidirecionais.

3.2 Equipamento

A impressora Martin 924 foi objeto de estudo devido apresentar elevada quantidade de quebra e desgaste prematuro das peças em seu sistema de contagem e separação das caixas. Essa impressora, de fabricação francesa, é considerada mundialmente, uma das melhores em seu ramo de atuação. Apresenta três unidades de impressão e função de colagem das caixas, além de ajuste e lavagem automática das bombas.

3.3 Metodologia

Para a realização do presente projeto, foram realizados testes, para a adequação e melhoria do desempenho do maquinário. A FIGURA 43, apresenta esquematicamente como era originalmente a Impressora Martin 924, destacando as partes alteradas.

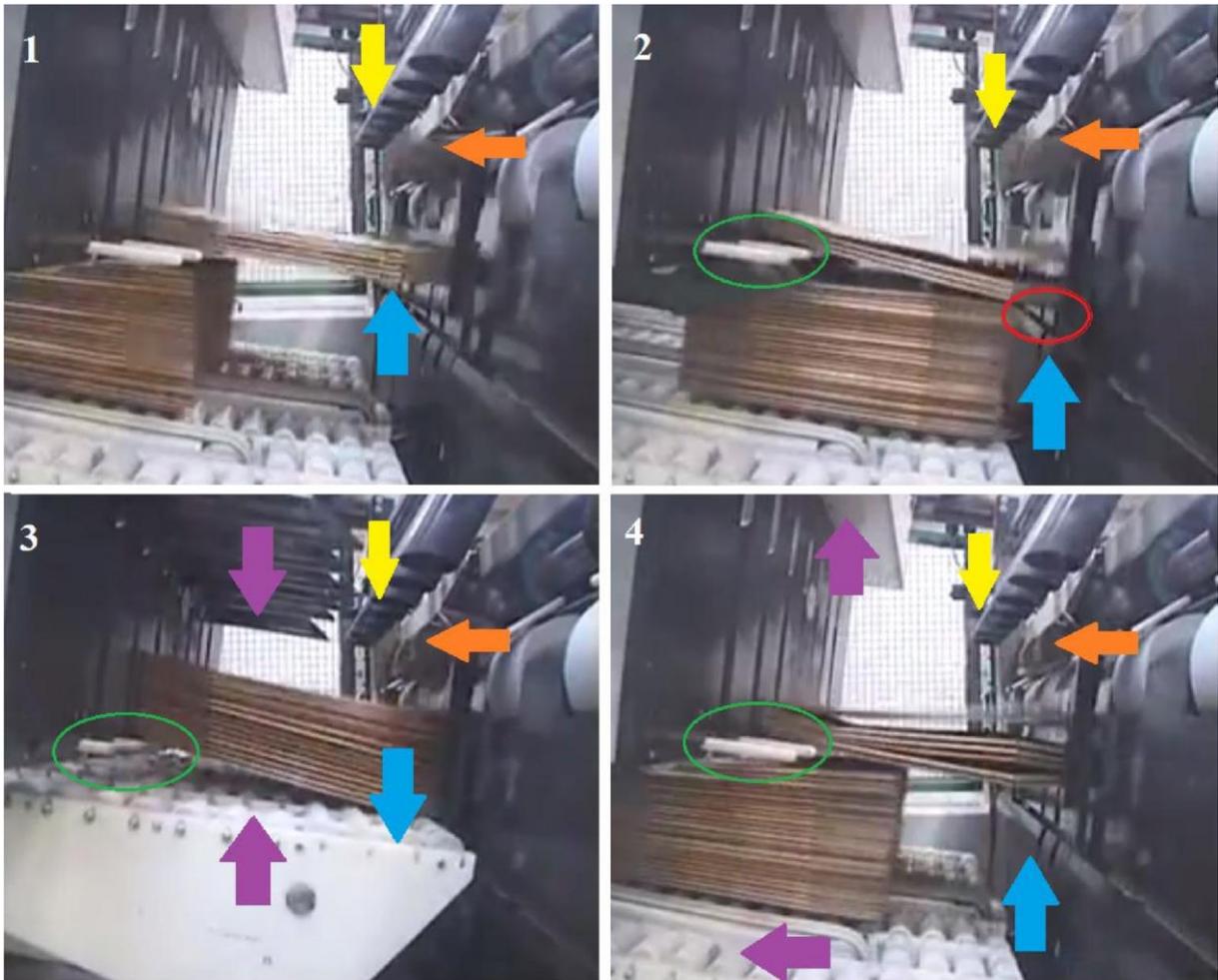


Fonte: Impressora Martin 924.

FIGURA 43 (Adaptada) – Vista explodida da Impressora Martin 924.

- 1 Chapa em aço para proteção do conjunto;
- 2 Base de apoio do cilindro atuador;
- 3 Cilindro atuador pneumático;
- 4 Haste do cilindro atuador;
- 5 Conexão da haste do cilindro ao garfo basculante;
- 6 Eixo de apoio do garfo basculante;
- 7 Mancal do eixo;
- 8 Bucha para o mancal;
- 9 Rolete distanciador da eixo ao garfo;
- 10 Garfo basculante;
- 11 Eixo secundário de apoio;
- 12 Parafusos dos mancais para ajuste de pressão;
- 13 Pino graxeiro para lubrificação dos mancais;
- 14 Bucha para distanciamento do garfo ao eixo.

Para a melhor compreensão do funcionamento anterior a FIGURA 44 mostra o movimento que o garfo basculante fazia, gerando assim a problemática em estudo.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 44 (Adaptada) – Movimentos principais do conjunto da Impressora Martin 924.

Legenda da FIGURA 44:

- setas amarelas – Fluxo de Ar;
- setas laranjadas – Deslocamento das caixas via esteira e roletes empilhadores;
- setas azuis – Deslocamento do garfo basculante;
- setas roxas – Mesa de arraste ou garras de apoio do “lote”
- contato; elipse verde – Pinos de apoio contrários ao garfo
- basculante; elipse vermelha – Vão de passagem do garfo basculante.

Quadrante 1: o fluxo de ar empurra as caixas lançadas pela esteira para baixo, fazendo elas se fixarem nos pinos de apoio e no garfo basculante que está à direita, sustentando o novo “lote” a ser contado. A seta em azul indica que o garfo basculante está ativado e apoiando o “lote”.

Quadrante 2: nota-se a presença dos pinos de apoio circulados em verde que fazem o par de sustentação bilateral com o garfo basculante.

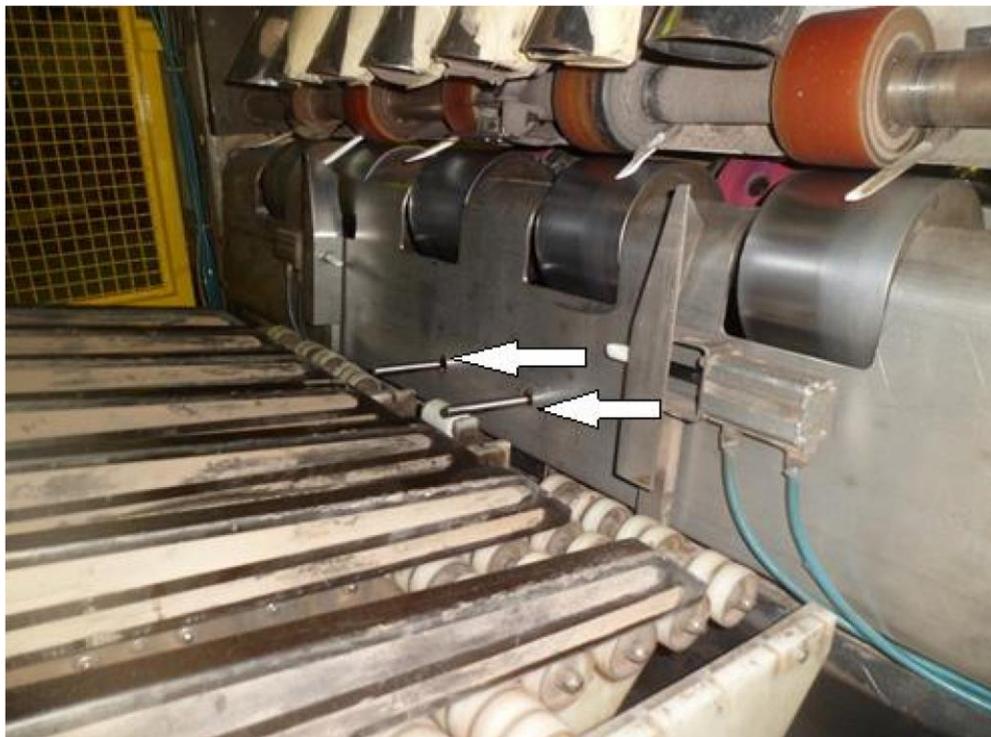
Quadrante 3: após a contagem programada do número de caixas do “lote” a mesa de arraste e as garras de apoio, em roxo, “prensam” o “lote” o removendo-o do contador/separador, neste momento os pinos de apoio e o garfo basculante retorna a posição de repouso, possibilitando o “lote” se apoiar na mesa.

Quadrante 4: enquanto a mesa leva o “lote” o garfo basculante sobe e inicia uma nova contagem.

Nesse esquema da FIGURA 44 se percebe o auto nível de solicitação que os componentes de articulação são expostos, fazendo com que não consigam uma vida útil tão proveitosa quanto o novo sistema implantado.

A princípio foi testado a utilização de apenas um cilindro com a haste executando a função do garfo basculante, conseqüentemente, o desempenho notado deste único atuador centralizado era insuficiente, por ser o único apoio, permitindo o deslizamento das caixas para as laterais, possibilitando possíveis perdas de material no momento em que o atuador e as hastes frontais retirassem as caixas. Devido tal possibilidade de perda, foi necessária a instalação de mais um atuador, garantindo assim, o bom desempenho do maquinário, eliminando a possibilidade de perda de material processado por esse motivo.

A FIGURA 45 apresenta as devidas modificações realizadas para melhor desempenho do maquinário.



Fonte: Próprio autor.

FIGURA 45 - Impressora Martin 924 adaptada.

As hastes apresentadas pelas setas brancas na FIGURA 45 são próprias dos cilindros pneumáticos, contudo a cabeça destas hastes foi extraída para melhor deslizamento do “lote” de caixas.

A chapa lisa com as reentrâncias para o garfo basculante (item 1 da FIGURA 43 p. 54) em aço foi substituída por uma chapa em aço inoxidável, pela alta corrosão que a antiga apresentava. Uma vez que o material das caixas possuem abrasivos, com o passar do tempo estes danificam as partes de contato da máquina. Outra observação é de que a chapa lisa com as reentrâncias não seria adequada para os furos do cilindro, então, a nova chapa em aço inoxidável foi construída para a devida adaptação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente era utilizado um garfo basculante, para a separação das caixas, porém, este apresentava grande taxa de quebras, devido as suas diversas articulações, que garantiam seu funcionamento. O desgaste prematuro das buchas era constante, ocasionando a parada de produção para a manutenção corretiva, mesmo com as manutenções preventivas em dia.

A lubrificação não era uma opção permitida, para melhorar o desempenho da máquina, devido a contaminação do produto destinado em sua maioria a embalagens de gêneros alimentícios. No lugar da lubrificação, eram usadas buchas de bronze grafitadas, mesmo assim sofriam grande desgaste. A utilização de graxas e lubrificantes que possam ser ingeridos por humanos, tornou-se um fator economicamente inviável, devido ao alto custo desses lubrificantes e as paradas programadas constante para realização de manutenção preventiva, visto que o ciclo de trabalho da fábrica é de 24 h/dia.

O novo sistema de atuadores pneumáticos substituiu o garfo basculante extinguindo as quebras, reduzindo as paradas para manutenção preventiva nesse sistema. Atualmente as manutenções preventivas são realizadas apenas para verificação de como se encontra os atuadores e hastes, sem maiores custos. A primeira e até o momento única substituição dos atuadores, levou o período de 30 meses para ser realizada, e ocorreu devido ao desgaste ocasionado pelo atrito existente entre as caixas de papel ondulado e as hastes, no momento de avanço e retorno. Não houveram mais paradas não programadas para manutenção corretiva.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o novo sistema de atuadores pneumáticos se mostrou bastante confiável, como era o objetivo, apresentando resultados satisfatórios, não havendo mais quebras e paradas indesejadas, além de ser mais duradouro quando comparado ao sistema antigo de garfo basculante.

A contaminação do produto por lubrificantes e graxas era um fator preocupante, em experiências realizadas no sistema antigo provocou-se grande contaminação e perda de produtos processados.

O sistema antigo tinha o custo relativamente elevado e tempo de vida curto, além do garfo ser uma peça importada, o que contribuía para oneração o produto, além de demandar em torno de 60 dias de espera para a chegada da peça. Tais fatores chamaram muito a atenção e despertaram a necessidade da mudança realizada no maquinário, que se mostrou bastante satisfatória, eficiente e produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELAN, H. C. **Bancada Didática para Sistemas de Automação Pneumática, Projeto de Fim de Curso.** UFSC. Florianópolis, 2005.

BOLLMANN, A. **Fundamentos de Automação Industrial Pneumática.** São Paulo: Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática - ABHP, 1997.

CAMARGO, G. O. **Comandos Hidráulicos e Pneumáticos.** Florianópolis: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, SC, 2010. 113 p.

DE NEGRI, V. J., **Estruturação da modelagem de sistemas automáticos e sua aplicação a um banco de tese para sistemas hidráulicos.** 1956, 157 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis.

FIALHO, A.B. **Automação Pneumática: Projetos Dimensionamento e Análise de Circuitos.** 2º ed. Ed Érica. São Paulo, 2003.

HASEBRINK, J.P. **Manual de Pneumática - Fundamentos**, v.1, Parte 1, Ed. Rexroth - Divisão Pneumática, Diadema - SP, 1990.

MARTIN. **Catálogo Técnico – Impressora Martin 924.** 2000.

METALPLAN. Site disponível em: <http://www.metalplan.com.br>. Acesso em 12/10/2014.

PARKER AUTOMATION. **Tecnologia eletropneumática industrial.** São Paulo, 2001. Apostila M1002-2 BR.

_____. **Tecnologia pneumática industrial.** São Paulo, 2000. Apostila M1001 BR.

PAVANI, S.A. **Comandos pneumáticos e hidráulicos.** 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.

REIS, M. N. E., **Comandos hidráulicos e pneumáticos.** Belo Horizonte, 2004. Apostila PUC-MG.

SCHULZ. Site disponível em: <http://www.schulz.com.br>. Acesso em 27/10/2014.