

Introdução à Pneumática

Prof. Fernando Passold

28 de maio de 2022

Sumário

1 Introdução	3
1.1 Características	3
1.1.1 Vantagens	3
1.1.2 Desvantagens	4
1.2 Rentabilidade de Equipamentos a Ar Comprimido	4
1.2.1 Trabalho com ar comprimido	6
1.2.2 O papel das fugas de ar comprimido	6
1.3 Fundamentos Básicos de Física	7
1.3.1 Grandezas físicas e algumas relações	8
1.3.2 Pressão	8
1.3.3 Propriedades do Ar	10
1.3.4 Lei de Boyle-Mariotte (temperatura constante)	10
1.3.5 Lei de Gay-Lussac (pressão constante)	10
1.3.6 Equação geral dos gases	10
2 Produção do Ar Comprimido	11
2.1 Introdução	11
2.2 Tipos de Compressores	11
2.2.1 Resumo	11
2.3 Critérios para Escolha de Compressores	11
2.3.1 Volume de ar fornecido	11
2.3.2 Pressão	11
2.3.3 Acionamento	13
2.3.4 Regulagem	13
2.4 Refrigeração	15
2.5 Local de montagem	16
2.6 Dimensionamento do Reservatório de Ar Comprimido	16
3 Distribuição do Ar Comprimido	19
3.1 Dimensionamento da Rede Condutora	19
3.2 Montagem da Rede de Distribuição	24

3.2.1	Tubulações principais	25
3.2.2	Tubulações Secundárias	25
3.2.3	Conexões para tubos metálicos	26
4	Preparação do Ar Comprimido	27
4.1	Introdução	27
4.2	Estimando a Condensação de Água	27
4.3	Filtros de Ar Comprimido	29
4.3.1	Filtro de ar	29
4.3.2	Dreno Automático	29
4.4	Regulador de Pressão	29
4.4.1	Regulador de Pressão com Exaustão	29
4.4.2	Regulador de Pressão sem Escape	29
4.5	Lubrificador de Ar Comprimido	29
4.5.1	Funcionamento do Lubrificador	30
4.6	Unidade de Conservação	31
4.6.1	Manutenção da Unidade de Conservação	32
4.6.2	Valores da Capacidade de Passagem de Unidades de Conservação	32
5	Elementos Pneumáticos de Trabalho	35
5.1	Elementos de Função Retilínea (Cilindros)	35
5.1.1	Cilindros de Ação Simples	35
5.1.2	Cilindros de Êmbolo	35
5.1.3	Cilindros de Membrana Plana	35
5.1.4	Cilindros de Membrana de Projeção	35
5.1.5	Cilindro de Ação Dupla	35
5.1.6	Cilindro com Amortecimento nos fins de curso	35
5.1.7	Cilindros de dupla ação em execução especial	35
5.1.8	Cilindro Tandem	35
5.1.9	Cilindro de Posição Múltipla	35
5.1.10	Cilindro de Impacto (Percussor)	35
5.1.11	Cilindros de Cabos (cilindro tracionador de cabos)	36
5.1.12	Cilindro Rotativo	36
5.1.13	Cilindro de Aleta Giratória	36
5.2	Tipos de Fixação	36
5.3	Construção do Cilindro	36
5.4	Cálculos dos Cilindros	36
5.4.1	Força do Êmbolo	36
5.4.2	Comprimento de Curso	38
5.4.3	Velocidade de Cilindros	40
5.4.4	Consumo de Ar	40

8 Válvulas	45
8.1 Introdução	45
8.2 Valores de Vazão em Válvulas	45
8.2.1 Uso de Monograma	46
9 Sequencia de Movimentos	49
9.1 Diagramas de Movimento	50
9.1.1 Diagrama de Trajeto e Passo	50
9.1.2 Diagrama de Trajeto e Tempo	51
9.2 Diagrama de Comando	51
9.3 Diagrama de Funcionamento	52
9.4 Tipos de Esquemas	52
9.4.1 Esquema de comando de posição	53
9.4.2 Esquema de comando de sistema	53
9.5 Notações para Denominação de Elementos	54
Equipamentos LASHiP	57
Sensores de Proximidade	61
.1 Indutivo	61
.2 Capacitivo	61
.3 Ótico	62

Listas de Figuras

1.1 Exemplo de aplicação de processo pneumático.	6
1.2 Diagrama de escape de ar.	7
1.3 Conceito de pressões relativas x absoluta.	9
2.1 Diagrama de volume e pressão fornecido por diferentes tipos de compressores.	12
2.2 Acionamento de compressores.	13
2.3 Acionamentos de compressores.	13
2.4 Regulagem por descarga.	14
2.5 Regulagem por fechamento.	14
2.6 Regulagem por garras.	15
2.7 Regulagem intermitente.	15
2.8 Refrigeração em compressores.	16
2.9 Reservatório de ar comprimido.	16
2.10 Diagrama para determinação de volume do reservatório de ar comprimido.	18
3.1 Monograma para determinação do diâmetro de tubos.	20
3.2 Monograma (diâmetro de tubo).	21
3.3 Monograma para determinação do "comprimento equivalente".	23
3.4 Exemplo de rede de distribuição em circuito aberto.	24
3.5 Exemplo de tubulaçāp em circuto fechado.	24
3.6 Exemplo de rede combinada.	24
4.1 Diagrama do ponto de orvalho.	28
4.2 Princípio Venturi.	29
4.3 Lubrificador de ar comprimido.	30
4.4 Valores de vazão de lubrificadores.	31
4.5 Unidade de Conservação	32
4.6 Curva de perda de pressão.	33
5.1 Diagrama de pressão x força de cilindros.	38
5.2 Diagrama de flambagem de cilindros.	39
5.3 Velocidades aproximadas de cilindros de dupla ação.	40

5.4	Diagrama para estimativa de consumo de ar de cilindros.	42
8.1	Pressões associados com uma válvula.	46
8.2	Monograma para estimar vazão em válvulas.	47
9.1	Exemplo de aplicação com sequencias de acionamento.	49
9.2	Exemplo de diagrama de trajeto e passo.	50
9.3	Diagrama de trajeto e passo para problema da fig. 9.1.	51
9.4	Diagrama de trajeto e tempo para exemplo da fig. 9.1.	51
9.5	Exemplo de diagrama de comando para um relé (b1).	51
9.6	Diagrama de funcionamento para exemplo da fig. 9.1.	52
9.7	Esquema de comando para exemplo da fig. 9.1.	52
9.8	Exemplo de esquema de comando de posição.	53
9.9	Exemplo de esquema de comando de sistema.	54
9.10	Exemplo de notação para denominação de elementos.	54
9.11	Outro exemplo de denominação de elementos.	55
9.12	Exemplo de denominação de elemento de trabalho usando letras.	55
9.13	“Flechas de ataque” que indicam sentido de comando de rolete escamoteável.	55
9.14	Linhos de marcação e seta em esquema de comando de cilindro.	56
15	Simbologia genérica para sensores de proximidade.	61

Listas de Tabelas

1.1	Grandezas básicas físicas.	8
1.2	Grandezas derivadas	8
2.1	Tipos de regulagem em compressores.	13
5.1	Tabela para estimar consumo de ambientes secundários.	43

Tópicos Previstos

1. Introdução

- 1.1 A Técnica do Ar Comprimido
- 1.2 Características do Ar Comprimido
- 1.3 Rentabilidade de Equipamentos a Ar Comprimido
- 1.4 Fundamentos Básicos de Física

2. Produção do Ar Comprimido

- 2.1 Instalação de Produção
- 2.2 Tipos de Compressores
- 2.3 Critérios para Escolha de Compressores

3. Distribuição do Ar Comprimido

- 3.1 Dimensionamento da Rede Condutora
- 3.2 Montagem da Rede de Distribuição de Ar Comprimido
- 3.3 Material da Tubulação
- 3.4 Conexões para Tubulações

4. Preparação do Ar Comprimido

- 4.1 Impurezas
- 4.2 Filtros de Ar Comprimido
- 4.3 Regulador de Pressão
- 4.4 Lubrificador de Ar Comprimido
- 4.5 Unidade de Conservação

5. Elementos Pneumáticos de Trabalho

- 5.1 Elementos de Função Retilínea (Cilindro)
- 5.2 Tipos de Fixação
- 5.3 Construção do Cilindro
- 5.4 Cálculos dos Cilindros
- 5.5 Elementos Pneumáticos de Trabalho de Ação Rotativa

6. Unidades de Construção Especial

- 6.1 Cilindro com Bloco de Comando Pneumático Incorporado
- 6.2 Sistemas Hidropneumáticos
- 6.3 Alimentador de Avanço Compassado
- 6.4 Mesa Giratória
- 6.5 Dispositivo de Fixação por Pinças

6.6 Mesa de Almofada de Ar

7. Válvulas

7.1 Generalidades

7.2 Válvulas Direcionais

7.2.1 Simbologia

7.2.2 Tipos de Açãoamento

7.2.3 Características Construtivas

7.2.4 Cálculos de Vazão em Válvulas

7.3 Outras Válvulas

7.3.1 Válvulas de Bloqueio

7.3.2 Válvulas de Retenção

7.3.3 Válvula Alternadora (Função Lógica "Or")

7.3.4 Válvula de Dupla Pressão (Função Lógica "And")

7.3.5 Válvula Reguladora de Fluxo

7.3.6 Válvula de Escape

7.3.7 Válvulas Reguladora de Pressão

7.3.8 Válvula de Sequencia

7.3.9 Válvulas de Fluxo (Vazão)

7.3.10 Válvulas de Fechamento

7.3.11 Válvula Retardadora (Temporizador)

7.4 Equipamentos para Comandos Programados

8. Exemplos Práticos

8.1 Exemplo 1) Distribuidor de Caixas

8.2 Exemplo 2) Açãoamento de um Registro de Dosagem

8.3 Exemplo 3) Comando de Caçamba de Fundição

8.4 Exemplo 4) Distribuidor de Esferas (Alimentador Vertical)

8.5 Exemplo 5) Colagem de Peças de Material Plástico

8.6 Exemplo 6) Prensa Pneumática

8.7 Exemplo 7) Controle de Tampas de Fechamento para Latas

9. Construção de Esquemas de Comando

9.1 Sequencia de Movimentos

9.2 Diagrama de Trajeto e Passo

9.3 Diagrama de Trajeto de Tempo

9.4 Diagrama de Comando

9.5 Exemplos

10. Eletropneumática

10.1 Introdução

10.2 Conversão Pneumática Elétrica de Sinais

10.3 Conceitos Iniciais

10.4 Elementos

10.5 Esquemas Elétricos

10.6 Exemplos

Capítulo 1

Introdução

O ar comprimido é provavelmente uma das mais antigas formas de transmissão de energia que o homem conhece, empregada e aproveitadas para ampliar sua capacidade física.

O reconhecimento da existência física do ar, bem como a sua utilização maior ou menos consciente para o trabalho, são comprovados há milhares de anos.

O primeiro homem que com certeza, sabemos ter-se interessado pela pneumática, isto é, o emprego do ar comprimido como meio auxiliar de trabalho, foi o grego Ktsibios. Há mais de 2 mil anos, ele construiu uma catapulta a ar comprimido. Um dos primeiros livros sobre o emprego do ar comprimido como transmissão de energia, data do 1º século D.C. e descreve equipamentos que foram acionados com ar aquecido.

Dos antigos gregos provém a expressão “*pneuma*” que significa fôlego, vento e, filosoficamente, alma.

Derivado da palavra “*pneuma*”, surgiu, entre outros, o conceito de “pneumática”: a área do conhecimento que trata do movimento e fenômenos dos gases.

Embora a base da pneumática seja um dos mais velhos conhecimentos da humanidade, foi preciso aguardar o século XIX para que o estudo de seu comportamento e características se tornasse sistemático. Porém, pode-se dizer que somente após 1950 é que esta área foi realmente introduzida à nível industrial.

Antes já existiam alguns campos de aplicação e aproveitamento da pneumática, como por exemplo: a indústria mineira, a da construção naval e a indústria ferroviária (freios à ar comprimido).

A implementação de forma mais generalizada da pneumática na indústria começou com a necessidade, cada vez maior, de automatização e racionalização dos processos produtivos.

Apesar de sua rejeição inicial, quase sempre proveniente da falta de conhecimento, esta área foi aceita e o número de áreas de aplicação se expandiu consideravelmente.

Atualmente, o ar comprimido tornou-se indispensável e é empregada em diferentes setores industriais na forma de diferentes aparelhos pneumáticos.

1.1 Características

Entre as principais características associadas com a área de pneumática pode-se destacar que nenhum outro elemento auxiliar pode ser adotado de forma tão simples e rentável para solucionar problemas de automação.

1.1.1 Vantagens

Disponibilidade: o ar a ser comprimido se encontram em quantidade ilimitadas, praticamente em todos os lugares.

Transporte: o ar comprimido é facilmente transportável por tubulações, mesmo para distâncias consideravelmente grandes. Não há necessidade de se preocupar com o retorno do ar.

Armazenamento: no local não é necessário que o compressor esteja em funcionamento contínuo. O ar pode ser sempre armazenado em um reservatório e posteriormente tirado de lá. Além disso é possível o transporte em

reservatórios (botijões).

Temperatura: o trabalho realizado com ar comprimido é insensível às oscilações de temperatura. Isto garante, também em situações térmicas extremas, um funcionamento seguro.

Segurança: não existe o perigo de explosão ou de incêndio. Portanto não são necessárias custosas proteções contra explosões.

Limpeza: o ar comprimido é limpo. O ar, que eventualmente escapa da tubulações ou outros elementos inadequadamente vedados, não polui o ambiente. Esta limpeza é uma exigência por exemplo, nas indústrias alimentícias, madeireiras, têxteis e curtumes.

Construção: os elementos de trabalho são de construção simples e portanto, de custo vantajoso.

Velocidade: o ar comprimido é um meio de trabalho muito veloz que permite alcançar altas velocidades de trabalho. A velocidade de trabalho em cilindros pneumáticos oscila entre 1 à 2 m/s.

Regulagem: as velocidades e forças dos elementos a ar comprimido são reguláveis sem escala.

Seguro contra sobrecargas: elementos e ferramentas a ar comprimido são carregáveis até a parada final e portanto, seguros contra sobrecarga.

1.1.2 Desvantagens

Para pode limitar corretamente os campos de aplicação da pneumática, convém também se conhecer as características negativas da mesma.

Preparação: o ar comprimido exige uma boa preparação. Impurezas e umidade devem ser evitados pois provocam o desgaste nos elementos pneumáticos.

Compressibilidade: não é possível se manter uniforme e constante, as velocidade de pistões quando se usa ar comprimido.

Forças: o ar comprimido é econômico somente até certa força. O limite prático fica em torno de 20.000 à 30.000 Newtons (ou 2.000 à 3.000 Kp em aplicações diretas nos cilindros), quando se usa pressão "normal" de trabalho de 7 bar (pressão absoluta). Este parâmetro também varia com o curso e velocidade dos elementos envolvidos no circuito pneumático.

Escape de ar: o escape do ar é ruidoso, mas com a incorporação de silenciadores, este problema pode ser atenuado.

Custos: o ar comprimido é uma fonte de energia custosa. Mas o alto custo de emergia será em grande parte compensado por elementos de valor vantajoso e pela rentabilidade do ciclo de trabalho.

1.2 Rentabilidade de Equipamentos a Ar Comprimido

Em consequência da automatização e racionalização, a energia humana foi substituída por outras formas energéticas. Trabalhos antigamente feitos pelo homem agora estão sendo realizados mediante o emprego de ar comprimido.

Exemplos:

Deslocamento de volumes pesados, acionamento de alavancas, contagem de peças.

O ar comprimido embora muito vantajoso é um elemento energético relativamente caro. A produção e armazenagem, bem como a distribuição de ar comprimido às máquinas e dispositivos, implica um alto custo. Esta realidade cria em geral, a impressão de que a adoção de equipamentos a ar comprimido está relacionado com custos elevadíssimos. Mas esta é uma impressão errônea, pois, para um cálculo de rentabilidade real, não se considera somente o consumo da energia empregada, mas sim, os custos gerais acumulados.

Verifica-se que na maioria dos casos, os custos da energia empregada são insignificantes em relação a remunerações, custos de investimento e manutenção.

Exemplo 1:

Seguem os cálculos dos custos associados com a operação de um circuito pneumático que engloba: a instalação de 2 compressores, 1 acumulador (reservatório), torre de resfriamento, bombas de água refrigerante, ventiladores, rede de água refrigerante, instalação elétrica e rede distribuidora do ar comprimido para um estabelecimento com aproximadamente 600 empregados.

Obs.: para efeito de cálculo, considerar o período de 1 ano.

Cálculo do custo devido ao investimento

Depreciação do Equipamento	R\$ 200.000,00	
Depreciação local	R\$ 10.000,00	
Custo fixo anual	R\$ 210.000,00	(1)

Mais detalhes: em 1 ano foram anotadas 3003 horas de trabalho. Deste total, 2231 horas eram tempo de comprimir, 772 horas, tempo de marcha em vazio. Os compressores trabalharam aproximadamente 12 horas por dia.

Cálculo dos custos correntes durante o ano:

Custo de energia elétrica (tempo de comprimir)	2231 horas	R\$ 77.000,00
Custo de energia elétrica (marcha em vazio)	772 horas	R\$ 28.000,00
Gasto de óleo	170 litros	R\$ 13.910,00
Água para resfriamento	303 m ³ /ano	R\$ 2.030,00
Manutenção/Conservação		R\$ 71.000,00
Conserto		R\$ 10.000,00
	Sub-total	R\$ 201.940,00
		(2)

Custos totais:

Custos fixos por ano (1)	R\$ 210.00,00	
Custos correntes por ano (2)	R\$ 201.940,00	
Total	R\$ 411.940,00	(3)

Capacidade de produção de ar comprimido:

Por hora serão aspirados 1040 m³ de ar.

Para 2231 horas de comprimir, obter-se-ão para um ano:

$$2231 \text{ horas} \times 1040 \text{ m}^3 \cong 2.320.000 \text{ m}^3$$

Custo por m³:

$$\text{R\$ } 411.940,00^{(3)} / 2.320.00 \text{ m}^3 \cong \text{R\$ } 0,18 / \text{m}^3$$

O custo de 1 m³ de ar é então de \cong R\$ 0,18 – considerando aproveitamento da capacidade da instalação de 75%.

Exemplo 2:

Mesmas condições anteriores mas neste caso se considera aproveitamento de 80%.

A instalação de compressão funciona 23 horas/dia (parte devido a trabalho em turnos, parte devido a controles permanentes e parte devido à compensação de ar em exaustão).

Em 245 dias teremos completado: 245 dias \times 23 horas = 5640 horas de trabalho.

Considerando aproveitamento de 80%, teremos como tempo de comprimir:

$$\frac{5640 \times 80}{100} = 4512 \text{ horas.}$$

Como tempo de marcha em vazio, temos 200 horas.

Cálculo de custo para a instalação:

Custo fixo por ano	R\$ 210.000,00	
Custo de energia elétrica, tempo de comprimir (4512 horas)	R\$ 155.700,00	
Custo de energia elétrica, marcha dem vazio dos compressores	R\$ 7.200,00	
Custo de óleo (295 litros)	R\$ 24.130,00	
Água de refrigeração (500 m ³ /ano)	R\$ 3.340,00	
Manutenção/conservação	R\$ 71.000,00	
Conserto	R\$ 20.000,00	
	Total	R\$ 491.370,00
		(4)

Segue cálculo da capacidade de produção de ar comprimido:

Por hora serão aspirados 1.040 m³ de ar.

Para 4.512 horas de comprimir, obter-se-ão:

$$4512 \text{ horas} \times 1040 \text{ m}^3 = 4.692.480 \text{ h m}^3 \quad (5)$$

Custo por m³:

$$\text{R\$ } 491.370,00^{(4)} / 4.692.480^{(5)} = \text{R\$ } 0,10 / \text{m}^3$$

Neste caso, o custo da ar comprimido caiu para R\$ 0,10.

Em média temos portanto, um custo de R\$ 0,15/m³ para compressão de ar a 6 bar.

1.2.1 Trabalho com ar comprimido

Exemplo 3: Pergunta-se qual o trabalho que pode ser realizado com 1 m³ de ar?

Neste caso um cilindro com diâmetro de 35 mm, levanta volumes de 200 N (20 Kg) de peso. Um segundo cilindro da mesma medida, empurra os volmes para uma esteira transportadora – ver fig. 1.1.

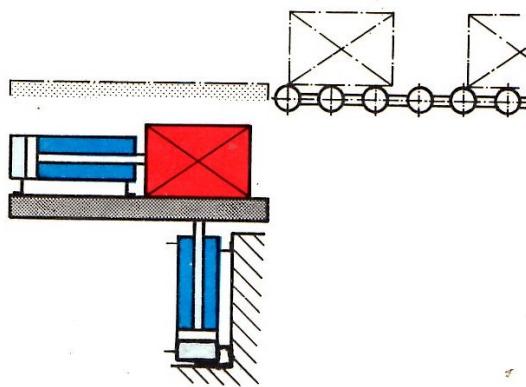


Figura 1.1: Exemplo de aplicação de processo pneumático.

A força executada a uma pressão de 6 bar (padrão; valor comumente adotado) é de 520 N (52 Kg).

Curso do cilindro 1 = 400 mm

Curso do cilindro 2 = 200 mm

Para ambos os cilindros serão necessários 8 L de ar por curso duplo (para cima e para baixo). Com 1 m³ podem portanto, ser levantados e empurrados para a esteira transportadora, 125 volumes.



Este último exemplo mostra que com o emprego do ar comprimido em ramos industriais, pode-se reduzir a utilização de custosa energia humana.

O ar comprimido deve ser utilizado especialmente para a realização de trabalhos monótonos, pesados e repetitivos.

1.2.2 O papel das fugas de ar comprimido

Porém os custos de ar comprimido podem crescer consideravelmente por não se estar atento o suficiente quanto a existência de vazamentos de ar na rede de distribuição

O diagrama da fig. 1.2 permite estimar o volume que pode escapar por uma determinada seção de abertura, a uma determinada pressão.

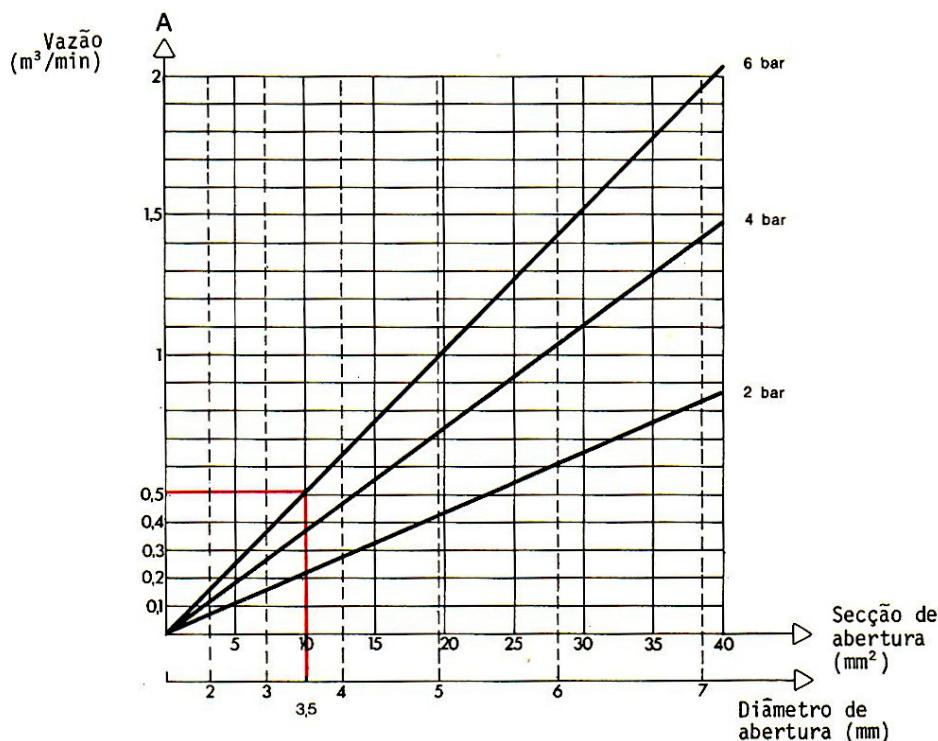


Figura 1.2: Diagrama de escape de ar.

Exemplo 1: um furo de 3,5 mm de diâmetro resulta, a uma pressão de 6 bar, no escape de um volume de $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$. Em uma hora serão perdidos: 30 m^3 de ar – notar linhas em vermelho destacadas na figura anterior.

Exemplo 2: devido a um gaxetamento solto, forma-se uma abertura circular de 0,06 mm em toda a circunferência do fuso de uma válvula de 20 mm de diâmetro. Esta falha corresponde a uma abertura de escape de 2 mm de diâmetro, com uma perda de ar de aproximadamente $0,2 \text{ m}^3/\text{min}$. O resultado à pressão de 6 bar, é de $12 \text{ m}^3/\text{hora}$. O ar também escapa durante os intervalos de trabalho, resultando assim numa perda diária de 290 m^3 . Considerando-se o custo de produção de R\$ 0,15 por m^3 , esta abertura de escape custa R\$ 43,50 por dia.

Estes exemplos mostram que a eliminação dos pontos de escape eleva bastante a rentabilidade do ar comprimido.

1.3 Fundamentos Básicos de Física

A superfície terrestre é totalmente cercada por uma camada de ar. Este ar é uma mistura gasosa composta por:

- Nitrogênio – aproximadamente 78% do volume;
- Oxigênio – aproximadamente 21% do volume.

Além disto, o ar contém também vestígios de dióxido de carbono, argônio, hidrogênio, neônio, hélio, criptônio e xenônio.

Para melhor compreender as leis e o estado do ar, devemos antes de tudo considerar as grandezas físicas e sua classificação nos sistemas de medidas.

Na área de pneumática ainda perdura o "Sistema técnico de medição" e o novo "Sistema (Padrão) Internacional" que visa definir um único sistema de medição.

As próximas tabelas 1.1 e 1.2 relacionam conceitos e grandezas da área de pneumática.

Grandezas	Símblo	Unidades e seus símbolos	
		"Sistema técnico"	"Sistema Internacional"
Comprimento	L	metro (m)	metro (m)
Massa	m	Kilograma (Kg)	Kilograma (Kg)
Tempo	t	segundos (s)	segundos (s)
Temperatura	T	graus Celsius ($^{\circ}$ C)	Kelvin (K)
Corrente (elétrica)	i	ampére (A)	ampére (A)
Intensidade luminosa			Candela (cd)

Tabela 1.1: Grandezas básicas físicas.

Grandezas	Símblo	Unidades e seus símbolos	
		"Sistema técnico"	Sistema Internacional'
Massa	m	$\frac{Kp \cdot s^2}{m}$	-
Força	F	Kilopond (Kp)	Newton (N): $1N = \frac{1Kg \cdot m}{s^2}$
Área	A	metro quadrado (m^2)	metro quadrado (m^2)
Volume	V	metro cúbico (m^3)	metro cúbico (m^3)
Fluxo (vazão)	Q	(m^3/s)	(m^3/s)
Pressão	p	atmosfera (at) (Kp/cm^2)	pascal (Pa) $1Pa = \frac{1N}{m^2}$ bar (bar) $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$

Tabela 1.2: Grandezas derivadas

1.3.1 Grandezas físicas e algumas relações

Seguem algumas relações entre o sistema internacional o sistema técnico:

Lei de Newton: Força = massa · aceleração

$$F = m \cdot a$$

onde a aceleração da gravidade, $g = 9,81 m/s^2$.

1 Kg é a massa da peça-protótipo guardada em Paris, que corresponde ao peso de 1 dm³ de água destilada a temperatura de 4,2°C.

1 Kp é a força que uma massa de 1 Kg faz sobre uma base.

Algumas equivalências entre sistemas de medida:

Massa: $1Kg = \frac{1}{9,81} \cdot \frac{Kp \cdot s^2}{m}$

Força: $1 (Kp) = 9,81 (N)$
para cálculos aproximados, pode-se usar:
 $1 Kp \cong 10 N$.

Temperatura: Diferença de temperatura: $1^{\circ}C = 1 K$ (Kelvin)
Ponto zero: $0^{\circ}C = 273 K$ (Kelvin)

1.3.2 Pressão

Além das unidades de pressão já mencionadas (at no sistema técnico, bar e Pascal no sistema SI), outras expressões ainda podem ser usadas frequentemente:

1. Atmosfera, [at]

(pressão absoluta no sistema técnico)

$$1 \text{ at} = 1 \text{ Kp/cm}^2 = 0,981 \text{ bar}$$

2. Pascal, [Pa]

Bar, [bar]

(pressão absoluta no padrão SI)

$$1 \text{ Pa} = \frac{1\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = \frac{10^5\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar} = 1,02 \text{ at}$$

3. Atmosfera física, [atm]

(pressão absoluta no sistema físico)

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ at} = 1,013 \text{ bar}$$

4. Coluna de água, [mm H₂O]

$$10.000 \text{ mm H}_2\text{O} = 1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar}$$

5. Coluna de mercúrio, [mm Hg (corresponde a unidade de pressão [Torr])]

$$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ at} = 736 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ bar} = 750 \text{ Torr (Torricelli)}$$

Obs.: Como tudo na terra depende da pressão atmosférica, ela não é "sentida".

Considera-se a pressão atmosférica absoluta como o ponto "zero" (ou a referência), ou então:

sobrepressão atmosférica = atü (pressão relativa) ou

depressão atmosférica = atü (vácuo)

O gráfico abaixo (fig 1.3) ilustra as explicações anteriores:

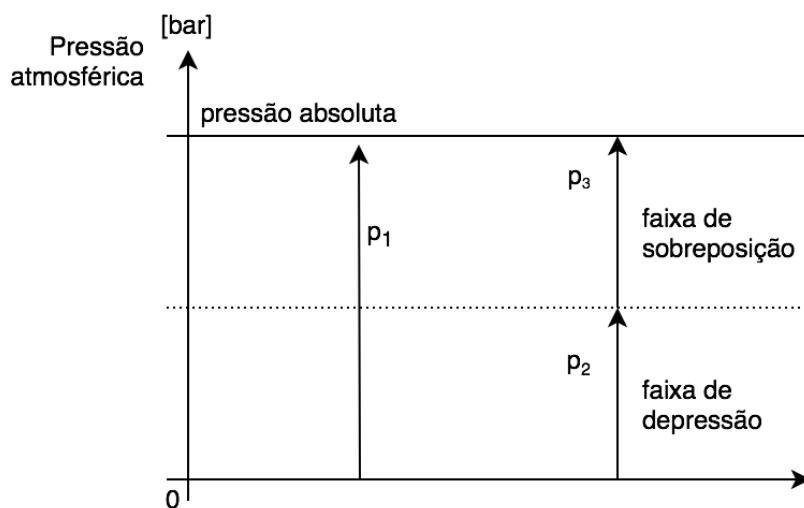


Figura 1.3: Conceito de pressões relativas x absoluta.

A pressão do ar não é sempre constante. Ela varia de acordo com a situação geográfica e as condições atmosféricas.

A faixa compreendida entre a linha do zero absoluto e a linha variável da pressão do ar é denominada de faixa de depressão e a faixa que está acima desta linha, denomina-se de sobrepressão.

A pressão absoluta p_1 é constituída pela pressão p_2 e pela pressão p_3 . Na prática, geralmente são usados medidores que acusam o valor da sobrepressão p_3 . Na indicação da pressão p_1 , o valor marcado é aumentado em 1 bar.

Com a ajuda das grandezas básicas apresentadas é possível explicar as principais características físicas do ar.

1.3.3 Propriedades do Ar

Compressibilidade blá-blá-blá

1.3.4 Lei de Boyle-Mariotte (temperatura constante)

Equação:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 = cte$$

1.3.5 Lei de Gay-Lussac (pressão constante)

Equação:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

1.3.6 Equação geral dos gases

Equação:

$$P \cdot V = V \cdot \rho \cdot R \cdot T$$

Capítulo 2

Produção do Ar Comprimido

2.1 Introdução

2.2 Tipos de Compressores

2.2.1 Resumo

A fig. 2.1 indica as capacidades, em quantidade aspirada e pressão alcançada, para alguns tipos de compressor.

2.3 Critérios para Escolha de Compressores

2.3.1 Volume de ar fornecido

O volume de ar fornecido é a quantidade de ar que está sendo fornecido pelo compressor. Existem 2 diferentes indicações de volume fornecido:

1. Volume fornecido teórico;
2. Volume fornecido efetivo

O produto do "volume cilíndrico x rotação" é o volume fornecido teórico.

O volume fornecido efetivo depende da construção do compressor. Um papel importante é desempenhado pela eficiência volumétrica.

Apenas o volume efetivo fornecido pelo compressor é que interessa, pois com este é que são acionados e comandados os equipamentos pneumáticos, mas, mesmo assim, muitos fabricantes de compressores baseiam os dados técnicos no valor teórico.

O volume é indicado em m^3/min ou m^3/hora .

2.3.2 Pressão

Distinções:

Pressão de regime: é a pressão fornecida pelo compressor, bem como a pressão do reservatório e a pressão distribuidora até o consumidor.

Pressão de trabalho: é a pressão necessária nos pontos de trabalho.

A pressão de trabalho é geralmente de 6 bar e os elementos de trabalho estão construídos para esta faixa, que é considerada quase como uma "pressão normalizada" ou "pressão econômica".

Importante: uma pressão constante é uma exigência para um funcionamento seguro e preciso. Isto depende de:

- Velocidade;
- Forças;
- Movimentos temporizados dos elementos de trabalho e de comando.

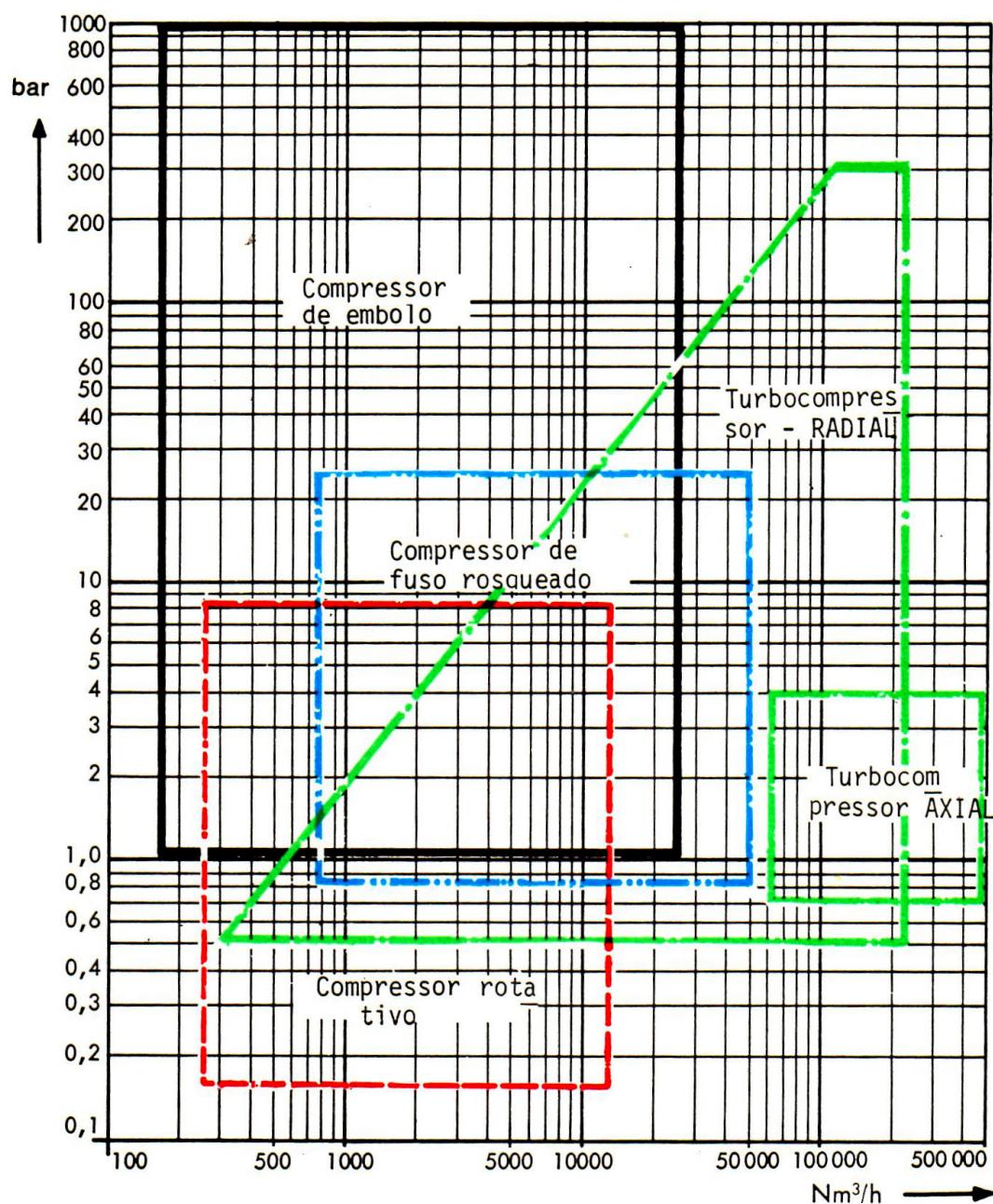


Figura 2.1: Diagrama de volume e pressão fornecido por diferentes tipos de compressores.

2.3.3 Acionamento

O acionamento dos compressores, conforme as necessidades fabris, será por motor elétrico ou motor a explosão. Em instalações industriais, aciona-se na maioria dos cados, com motor elétrico – ver fig. 2.2.

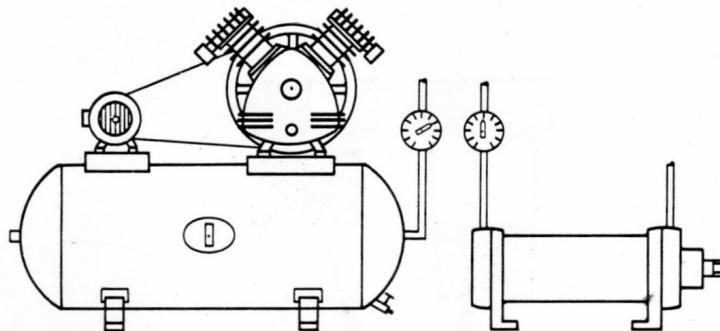


Figura 2.2: Acionamento de compressores.

Tratando-se de uma estação móvel, emprega-se para o acionamento, geralmente um motor a explosão (gasolina, óleo diesel) – ver fig. 2.3 (b).

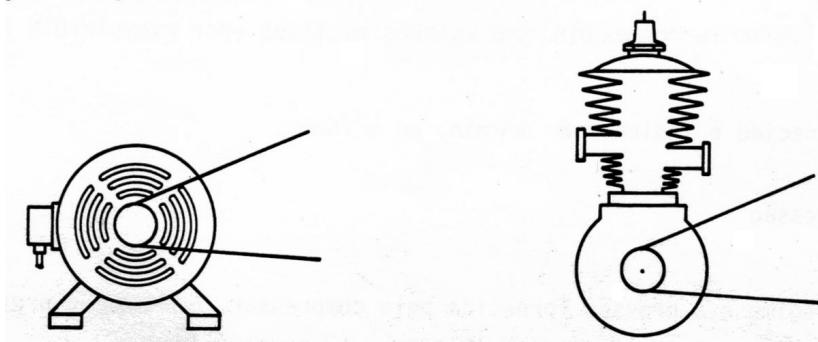


Figura 2.3: Acionamentos de compressores.

2.3.4 Regulagem

Para combinar o volume de fornecimento com o consumo de ar é necessário uma regulagem dos compressores.

Dois valores limites preestabelecidos (pressão máxima/mínima), influenciam o volume fornecido.

Existem diferentes tipos de regulagem – ver tabela 2.1.

Regulagem de marcha em vazio	Regulagem de carga parcial	Regulagem intermitente
a) Regulagem por descarga b) Regulagem por fechamento c) Regulagem por garras	a) Regulagem na rotação b) Regulagem por estrangulamento	

Tabela 2.1: Tipos de regulagem em compressores.

Regulagem de marcha vazia

a) Regulagem por descarga

Quando alcançada a pressão pré-regulada, o ar escapará livre da saída do compressor através de uma válvula. Uma válvula de retenção evita que o reservatório se esvazie ou retorne para o compressor – ver fig. 2.4.

b) Regulagem por fechamento

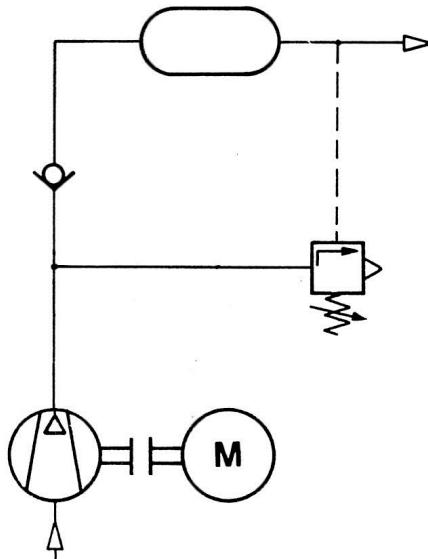


Figura 2.4: Regulagem por descarga.

Nesta regulagem se fecha o lado da sucção. O compressor não pode mais aspirar e funciona só em vazio (estado sem pressão). Esta regulagem é encontrada especialmente em compressores de êmbolo rotativo e também em compressores de êmbolo de movimento linear – ver fig. 2.5.

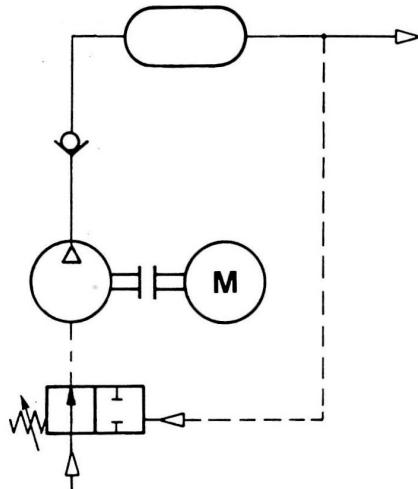


Figura 2.5: Regulagem por fechamento.

c) Regulagem por garras

Esta é empregada em compressores de êmbolo. Mediante garras, mantém-se aberta a válvula de sucção, evitando assim que o compressor continue comprimido – ver fig. 2.6. A regulagem é muito simples.

Regulagem de carga parcial

a) Regulagem por rotação

Sobre um dispositivo, ajusta-se o regulador de rotação do motor a explosão. A regulagem da rotação pode ser feita manualmente ou também automaticamente, dependendo da pressão de trabalho.

Em acionamento elétrico, regula-se a rotação em escala, mediante motores de pólos comutáveis. Este sistema porém, não é muito usado (1979).

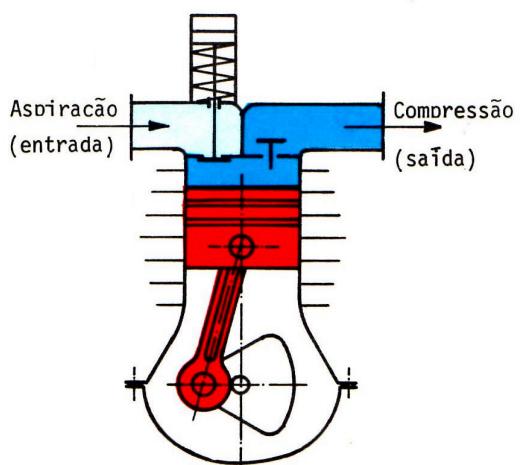


Figura 2.6: Regulagem por garras.

b) Regulagem por estrangulamento

A regulagem se faz mediante simples estrangulamento no funil de sucção e os compressores podem assim ser regulados para determinadas cargas parciais. Encontra-se regulagem em compressores de êmbolo rotativo e em turbocompressores.

c) Regulagem Intermittente

Com esta regulagem, o compressor funciona em 2 situações: carga máxima e parada total.

Ao alcançar a pressão máxima, o motor acionador do compressor é desligado e quanto a pressão atinge o valor mínimo, o motor se liga novamente e o compressor trabalha outra vez – ver fig. 2.7.

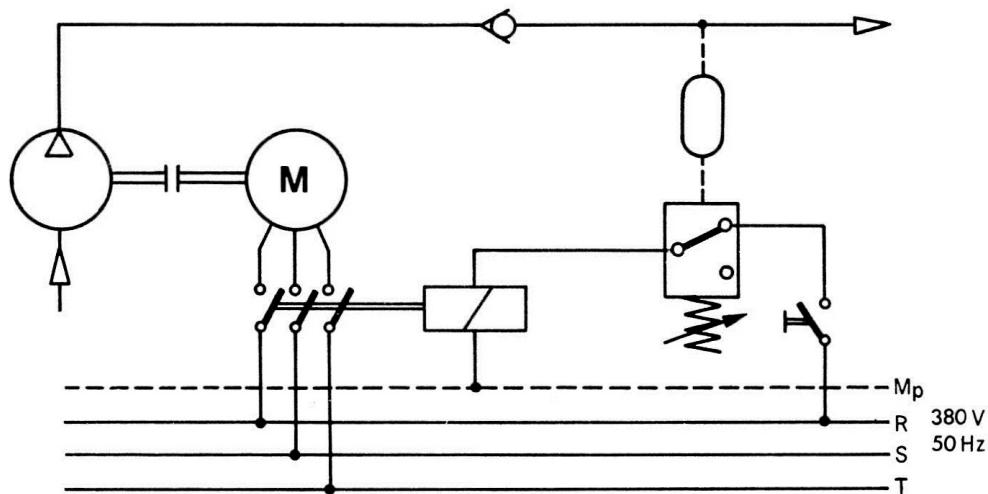


Figura 2.7: Regulagem intermitente.

A frequência de comutações pode ser regulada num pressostato e para que os períodos de comando possam ser limitados a um valor aceitável, é necessário um grande reservatório de ar comprimido.

2.4 Refrigeração

Provocado pela compressão do ar e pelo atrito, cria-se calor no compressor, o qual deve ser dissipado. Conforme o grau de temperatura no compressor, é necessário escolher a refrigeração mais adequada – ver fig. 2.8.

Em compressores pequenos, serão suficientes palhetas de aeração, para que o calor seja dissipado (fig. 2.8 (b)). Já compressores maiores são equipados com ventilador para dissipar o calor.

Tratando-se de uma estação de compressores com uma potência de acionamento de até 30 KW (40 HP), uma refrigeração a ar seria suficiente. Compressores maiores devem então se equipados com uma refrigeração a água

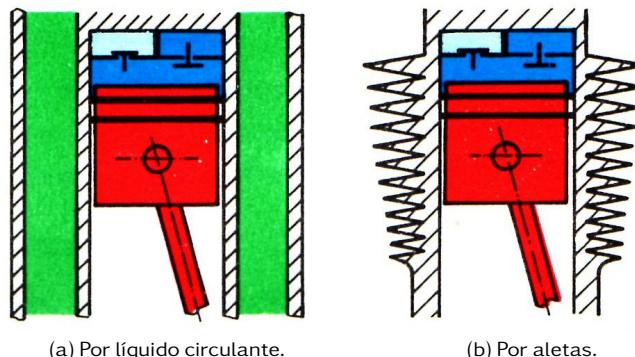


Figura 2.8: Refrigeração em compressores.

circulante ou água contínua – ver fig. 2.8 (a). Frequentemente não é levada em consideração uma instalação de refrigeração completa, com torre de resfriamento, devido ao seu alto custo, porém, uma refrigeração adequada prolonga em muito a vida útil do compressor e produz um ar melhor refrigerado, o que, em certas circunstâncias, torna desnecessária uma refrigeração posterior, ou a mesma pode ser feita com menor empenho.

2.5 Local de montagem

A estação de compressores deve ser montada dentro de um ambiente fechado, com proteção acústica para fora. O ambiente deve ter boa aeração. O ar sugado deve ser fresco, seco e livre de poeira.

2.6 Dimensionamento do Reservatório de Ar Comprimido

A figura 2.9 mostra de forma genérica um reservatório de ar comprimido.

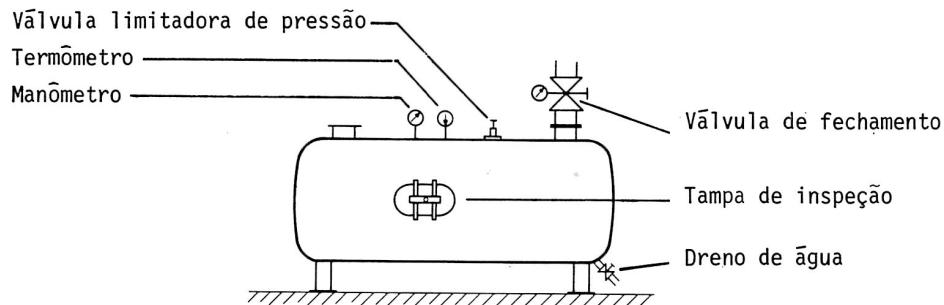


Figura 2.9: Reservatório de ar comprimido.

O reservatório serve para a estabilização da distribuição do ar comprimido. Ele elimina as oscilações de pressão na rede distributiva e quando há momentaneamente alto consumo de ar, é uma garantia de reserva.

A grande superfície do reservatório refrigera o ar suplementar. Por isso se separa diretamente no reservatório, uma parte da umidade do ar como água.

O tamanho do reservatório de ar comprimido depende de:

- Volume fornecido pelo compressor;
 - Consumo de ar;
 - Rede distributiva (volume suplementar);
 - Tipo de regulagem;
 - Diferença de pressão desejada na rede.

Determinação do Volume do Compressor

O volume do reservatório pode ser determinado com o auxílio do diagrama da fig. 2.10.

Exemplo: Seja o caso:

Consumo: $Q = 20 \text{ m}^3$

Interrupções: $Z = 20 \text{ h}$

Diferença de pressão: $\Delta p = 1,0 \text{ bar}$

Volume do reservatório: $V_\beta ?$

Cálculos:

Consultando o diagrama da fig. 2.10 percebemos que $V_\beta = 15 \text{ m}^3$.

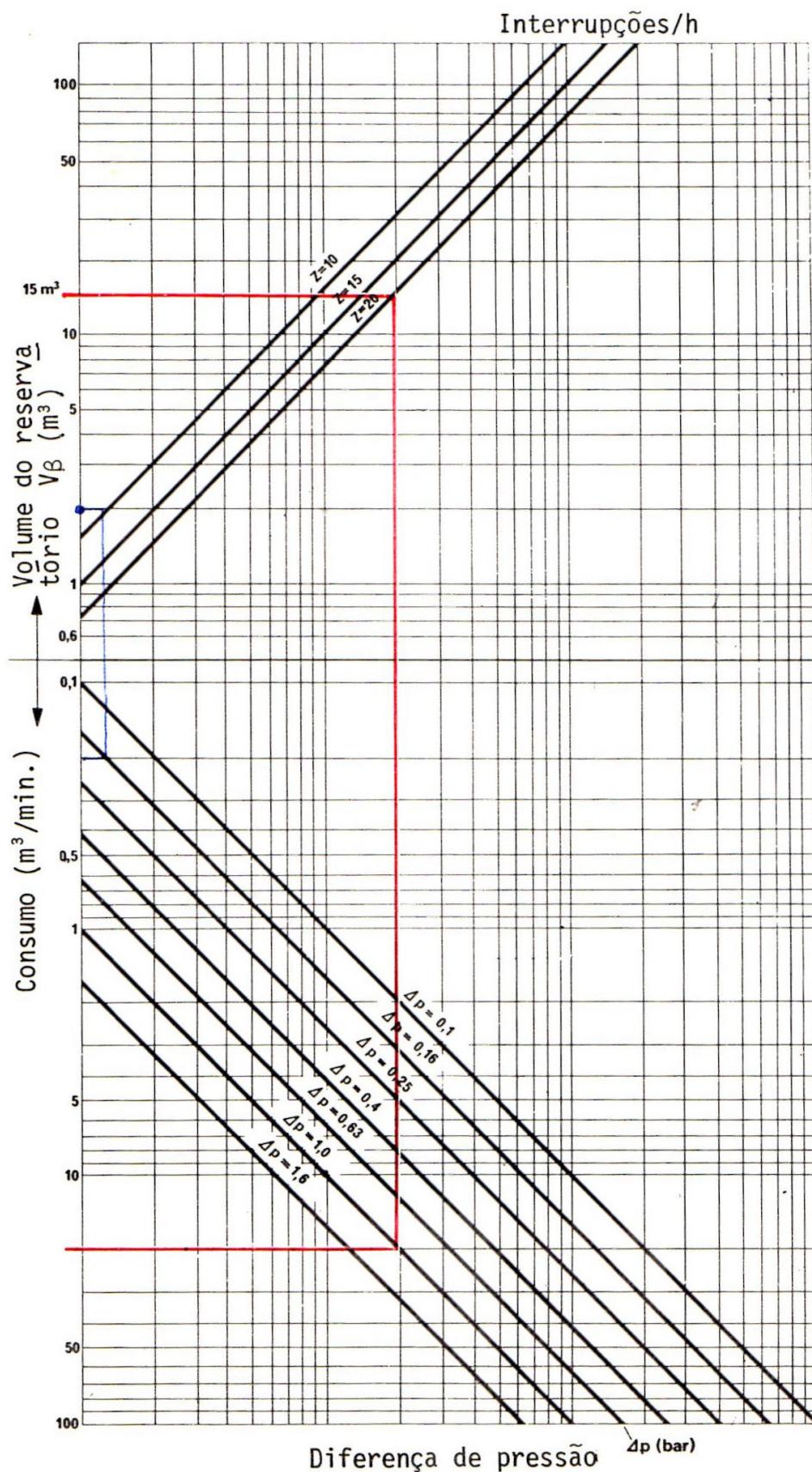


Figura 2.10: Diagrama para determinação de volume do reservatório de ar comprimido.

Capítulo 3

Distribuição do Ar Comprimido

Provocada pela crescente racionalização e automatização das instalações industriais, a necessidade de ar (comprimido) nas fábricas está crescendo. Cada máquina e cada dispositivo requer sua quantidade de ar, que está sendo fornecido pelo compressor, através da rede distributiva.

O diâmetro da tubulação, deve ser escolhido de maneira que, mesmo com um consumo de ar crescente, a queda da pressão, do reservatório até o consumidor, não ultrapasse 0,1 bar. Uma queda maior da pressão prejudica a rentabilidade do sistema e diminui consideravelmente sua capacidade.

Já no projeto da instalação de compressores, deve ser prevista uma possível ampliação posterior e consequentemente, maior demanda de ar, determinando dimensões maiores dos tubos da rede de distribuição.

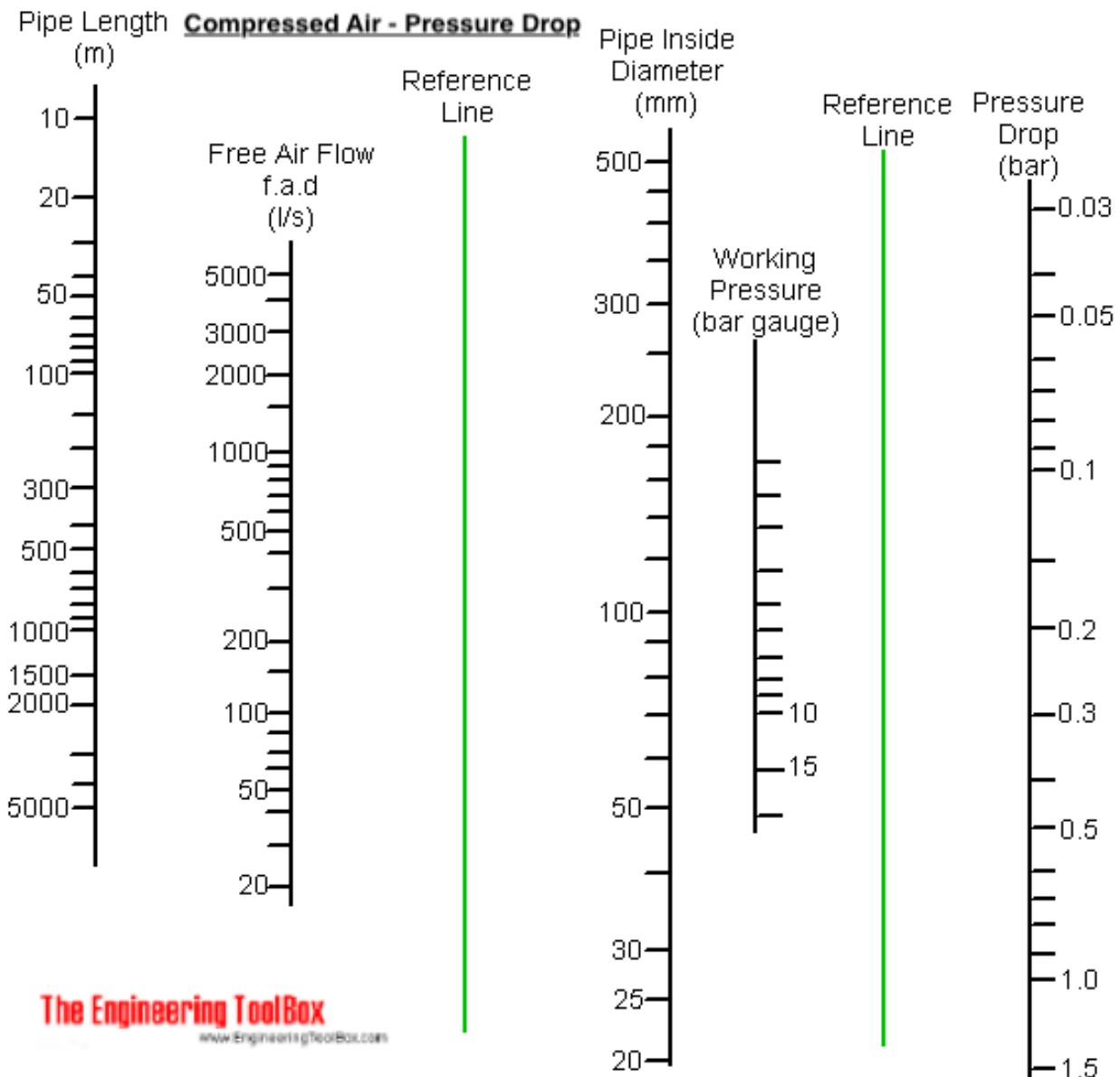
A montagem posterior de uma rede distributiva de dimensões maiores (ampliação), acarreta despesas elevadas.

3.1 Dimensionamento da Rede Condutora

A escolha do diâmetro da tubulação não é realizada por quaisquer equações empíricas ou para aproveitar tubos por acaso existentes em depósito, mas sim se considerando:

- Volume corrente (vazão);
- Comprimento da rede;
- Queda de pressão admissível;
- Pressão de trabalho;
- Número de pontos de estrangulamento na rede.

Na prática o monograma da fig. 3.1 ou fig. 3.2, facilita a verificação da queda de pressão ou do diâmetro do tubo na rede. Um aumento necessário, no futuro, deve ser previsto e considerado.



Extraído de: Engineering ToolBox, (2008). Compressed Air - Pipe Line Pressure Drop Diagram. [online] (Acessado em Maio/2022).

Figura 3.1: Monograma para determinação do diâmetro de tubos.

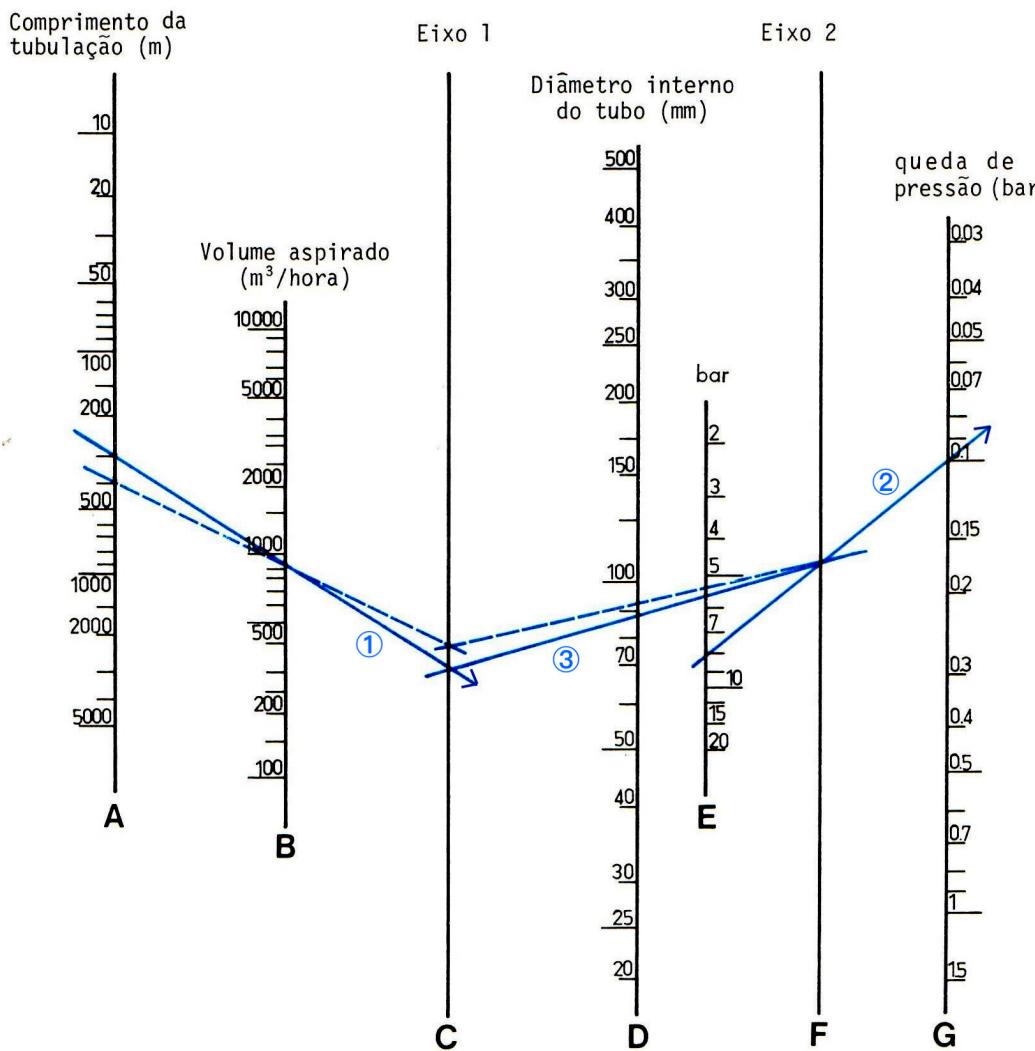
Exemplo de Cálculo da Tubulação:

O consumo de ar em um estabelecimento fabril é de $4 \text{ m}^3/\text{min}$ ($240 \text{ m}^3/\text{hora}$). O aumento em 3 anos será de 300%. isto resultará em $12 \text{ m}^3/\text{min}$ ($720 \text{ m}^3/\text{hora}$). O consumo total é limitado em $16 \text{ m}^3/\text{min}$ ($960 \text{ m}^3/\text{hora}$). A tubulação será de 280 metros de comprimento. Dentro dela se encontram 6 peças em "T", 5 cotovelos normais, 1 válvula de passagem. A queda de pressão admissível é de $\delta p = 0,1 \text{ bar}$. A pressão de trabalho é de 8 bar.

Pede-se: determine o diâmetro interno do tubo (de distribuição).

Solução:

Com as indicações presentes, será determinado, no monograma (fig. 3.2), o diâmetro provisório do tubo.



1) Usando-se o monograma, liga-se a coluna A (comprimento da tubulação) com a coluna B e prolonga-se uma reta até a coluna C (eixo 1).

2) A pressão de trabalho (coluna E) será conectada com a coluna G (queda de pressão), obtendo-se assim, na coluna F (eixo 2), um ponto de intersecção.

3) Os pontos de intersecção serão conectados entre si. Na linha D (diâmetro interno), obter-se-a um ponto de intersecção que provide o diâmetro do tubo.

Extraído do "Manual para a Indústria Pneumática" da FMA Pokorny, Frankfurt.

Figura 3.2: Monograma (diâmetro de tubo).

O resultado do nosso cálculo é aproximadamente 90 mm de diâmetro.

Para os elementos redutores de fluxo (válvulas de gaveta, de passagem, de assento, peças em "T", cotovelo), as resistências são transformadas em comprimento equivalente.

Como comprimento equivalente compreende-se o comprimento linear do tubo reto, cuja resistência à passagem do ar seja igual a resistência oferecida pelo elemento em questão.

A seção transversal do tubo de "comprimento equivalente" é a mesma do tubo utilizado na rede.

Por meio de um segundo monograma (ver fig. 3.3), pode-se estimar rapidamente os "comprimentos equivalentes".

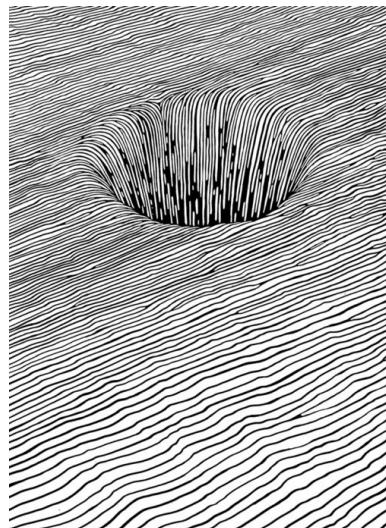
Finalizando o exemplo iniciado na pág. anterior, e usando o monograma (fig. 3.3), vamos obter:

$$\begin{array}{lll} 6 \text{ Peças "T"} & (90 \text{ mm}) & = 6 \times 10,5 \text{ m} = 63 \text{ m;} \\ 1 \text{ Válvula de passagem} & (90 \text{ mm}) & = 32 \text{ m;} \\ 5 \text{ Cotovelos normais} & (90 \text{ mm}) & = 5 \times 1 \text{ m} = 5 \text{ m;} \\ & & \hline & & 100 \text{ m} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Comprimento da tubulação} & 280 \text{ m} \\ \text{Comprimento equivalente} & 100 \text{ m} \\ \hline \text{Comprimento total} & 380 \text{ m} \end{array}$$

Com este comprimento total da tubulação (380 m), o consumo de ar, a queda de pressão e a pressão de trabalho, pode-se determinar, no monograma da figura 3.2, o diâmetro real necessário.

O diâmetro do tubo, indicado para este exemplo, fica em 95 mm.



Note que a queda de pressão em tubulações pneumáticas pode ser calculada também através de uma fórmula empírica:

$$dp = \frac{7,57 q^{1,85} L \times 10^4}{d^5 p}$$

onde: dp = queda de pressão (em Kg/cm^2);

q = volume de fluxo de ar, sob condições "FAD"⁽¹⁾ (em m^3/min);

L = comprimento da tubulação (m);

d = diâmetro interno do tubo (mm);

p = pressão inicial - gauge (Kg/cm^2)

(1) FAD=Free Air Delivery: se refere a quantidade real de ar comprimido convertida de volta às condições de entrada do compressor. As unidades para FAD são CFM no sistema imperial e l/min no sistema SI. As unidades são medidas em geral de acordo com as condições padrão de entrada do ambiente ISO 1217: Temperatura ambiente = 20°C, Pressão ambiente = 1 bar (absoluto), Umidade relativa = 0%, Água/ar de resfriamento = 20°C e Pressão de trabalho efetiva na válvula de descarga = 7 bar (absoluto).

1 m³/min (f.a.d) = 1000 liter/min (f.a.d) = 1000 dm³/min (f.a.d) = 16.7 l/s (f.a.d) = 16.7 dm³/s (f.a.d) = 35.26 ft³/min (f.a.d)

Continua...

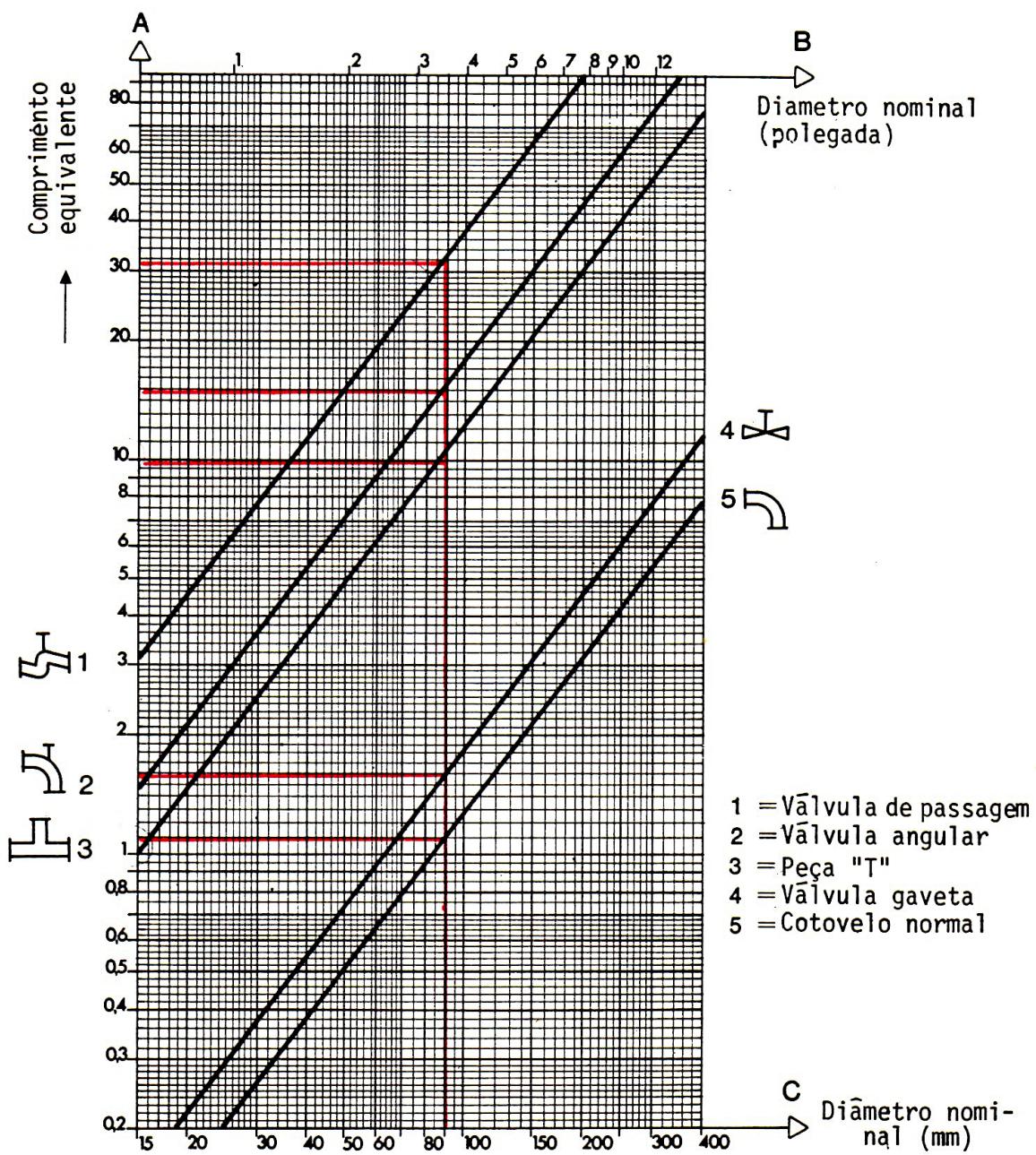


Figura 3.3: Monograma para determinação do "comprimento equivalente".

3.2 Montagem da Rede de Distribuição

A montagem das tubulações ("pipes") também é importante.

As tubulações de ar comprimido requerem uma manutenção regular, razão pela qual as mesmas não devem, dentro do possível, ser montadas dentro de paredes ou cavidades estreitas. O controle da estanqueidade das tubulações seria dificultado por essa causa. Pequenos vazamentos são causa de consideráveis perdas de pressão.

As tubulações, especialmente no caso de circuitos abertos (ver fig. 3.4), devem ser montadas com declive de 1% à 2%, na direção do fluxo. Devido a condensação de água.

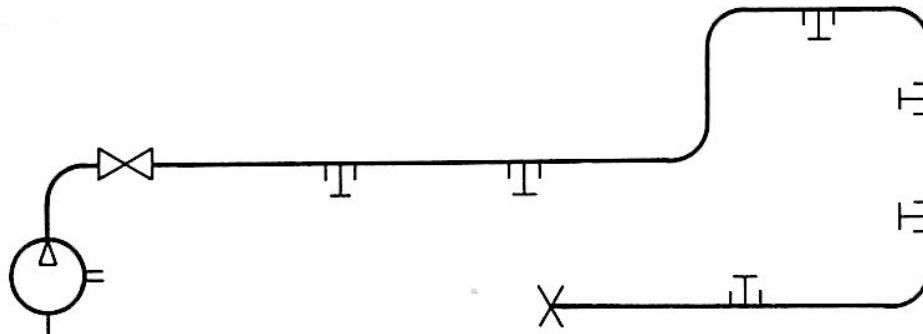


Figura 3.4: Exemplo de rede de distribuição em circuito aberto.

É fundamental em tubulações horizontais, instalar ramais de tomadas de ar na parte superior do tubo principal. Dessa forma evita-se que a condensação de água existente na tubulação principal possa chegar às tomadas de ar através dos ramais.

Para interceptar e drenar água condensada devem ser instaladas derivações com drenos na parte inferior da tubulação principal.

Geralmente as tubulações principais são montadas em circuito fechado (ver fig. 3.5). Partindo da tubulação principal, são instaladas ligações em derivação. Quando o consumo de ar é muito grande, consegue-se, mediante esta estratégia, uma alimentação uniforma. O ar flui em ambas as direções.

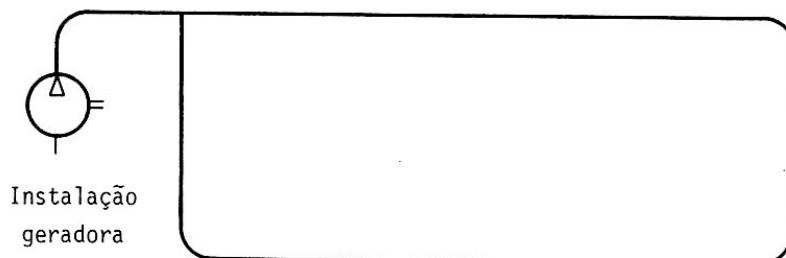


Figura 3.5: Exemplo de tubulação em circuito fechado.

Existe também a opção pelo uso de uma rede combinada – ver fig. 3.6. Esta instalação também é um circuito fechado, por suas ligações longitudinais e transversais. Ela oferece a possibilidade de trabalhar com ar em qualquer lugar.

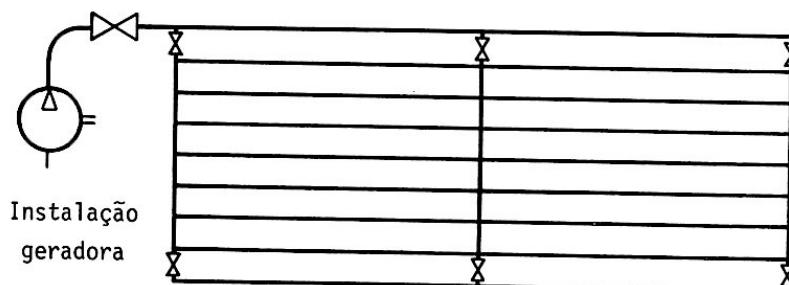


Figura 3.6: Exemplo de rede combinada.

Mediante válvulas de fechamento existe a possibilidade de fechar determinadas linhas de ar comprimido quando

as mesmas não foram usadas ou quando é necessário colocá-las fora de serviço por razões de manutenção ou de reparos. Esta abordagem também permite um controle de estanqueidade.

3.2.1 Tubulações principais

Para o material da tubulação temos as opções:

- Cobre;
- Latão;
- Aço liga;
- Tubo de aço preto;
- Tubo de aço zinorado (galvanizado);
- Material sintético

Toda tubulação deve ser fácil de instalar, resistente à corrosão e de preço vantajoso.

Tubulações instaladas para um tempo determinado devem ter uniões soldas que, neste caso, serão de grande vantagem, pois são bem vedadas e não muito custosas. A desvantagem destas uniões são as escamas que se criam ao soldar. Estas escamas devem ser retiradas da tubulação. A costura da solda também é sujeita à corrosão, e isto requer a montagem de uma unidade de conservação.

Em tubulações de aço zinorado (galvanizado), o ponto de conexão nem sempre é totalmente vedado. A resistência à corrosão, nestes tubos, não é muito melhor do que a do tubo de aço preto. Lugares decapados (roscas) também podem enferrujar, razão pela qual aqui é importante o emprego da unidade de conservação.

Em casos especiais prevêm-se tubos de cobre ou de material sintético (plástico).

3.2.2 Tubulações Secundárias

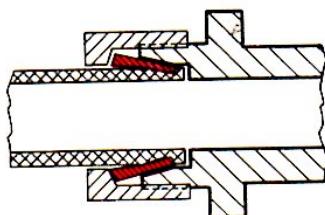
Tubulações à base de borracha (mangueiras) somente devem ser usados onde for requerida certa flexibilidade e onde, devido a um esforço mecânico mais elevado, não possam ser usadas tubulações de material sintético.

Tubulações à base de borracha podem ser mais caras e menos manejáveis do que as de material sintético.

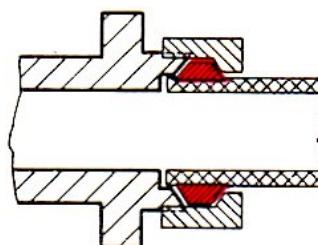
Tubulações à base de polietileno e poliamido, hoje são mais frequentemente usadas em maquinários e, aproveitando novos tipos de conexões rápidas, as tubulações de material sintético podem ser instaladas de maneira rápida e simples, sendo ainda de baixo custo.

3.2.3 Conexões para tubos metálicos

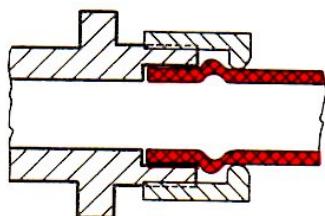
Seguem casos especialmente indicados para tubos de aço e cobre:



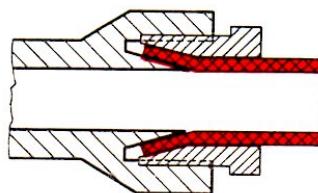
(a) Conexão com anel de corte: permite várias montagens e desmontagens.



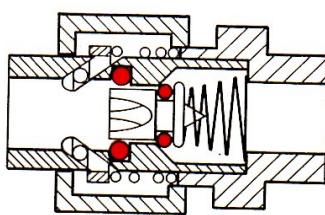
(b) Conexão com anel de pressão. O anel interno especial serve também para tubos plásticos.



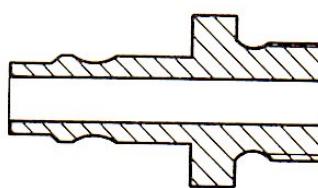
(c) Conexão com rebordo prensado.



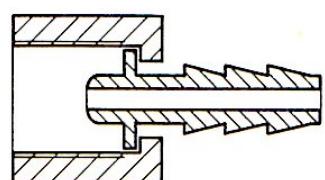
(d) Conexão com rebordo flangeado.



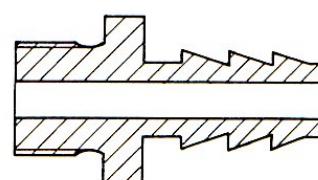
(e) Engate rápido (fêmea).



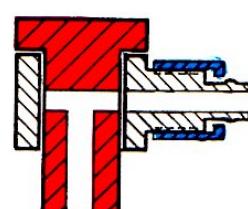
(f) Engate macho.



(g) Engate rápido (fêmea).



(h) Engate macho.



(i) Conexões rápidas para mangueiras plásticas.

Capítulo 4

Preparação do Ar Comprimido

4.1 Introdução

Na prática encontramos exemplos onde se deve dar muito valor à qualidade do ar comprimido.

Impurezas em forma de partículas de sujeira ou ferrugem, restos de óleo e umidade levam, em muitos casos, à falhas em instalações avarias nos elementos pneumáticos.

Enquanto a separação primária do condensado é feita no separador após o resfriador, a separação final, filtração e outros tratamentos secundários do ar comprimido, são executados no local de consumo. Nisso é necessário se atentar especialmente para a ocorrência de umidade.

A água (umidade) já penetra na rede pelo próprio ar aspirado pelo compressor.

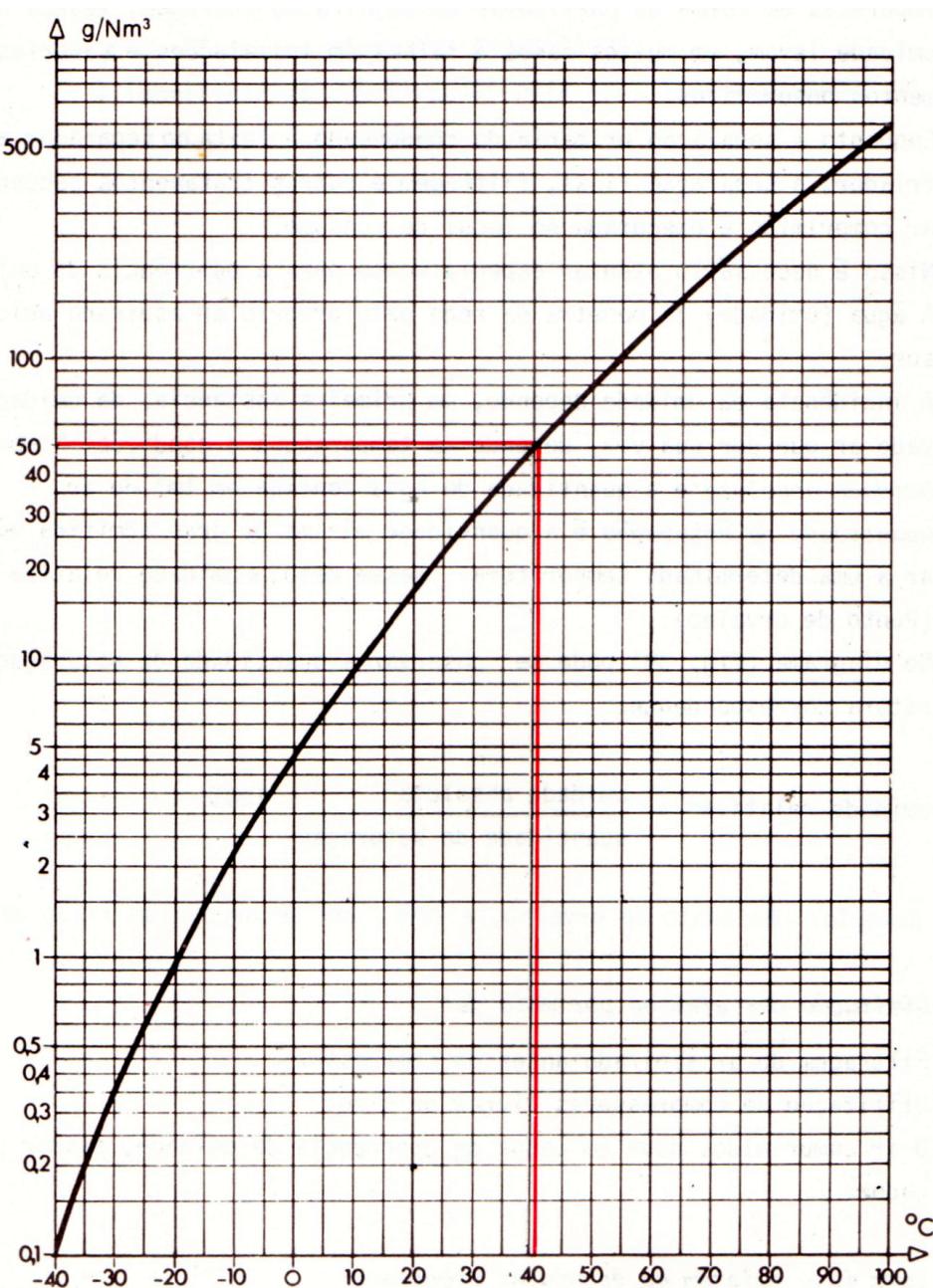
4.2 Estimando a Condensação de Água

A incidência da umidade depende em primeira instância, da umidade relativa do ar, que por sua vez, depende da temperatura e condições atmosféricas.

Umidade absoluta: é a quantidade de água contida em 1 m^3 de ar.

Quantidade de saturação: é a quantidade máxima de grau admitida em 1 m^3 de ar, a uma determinada temperatura. Nesse caso, a umidade relativa é de 100% (ponto de orvalho).

O diagrama da fig. 4.1 permite estimar a quantidade de saturação à determinada temperatua.



Para um ponto de orvalho de 313K (40°C), 1m³ contém 50g de água.

Figura 4.1: Diagrama do ponto de orvalho.

Note:

$$\text{Umidade relativa} = \frac{\text{Umidade absoluta}}{\text{Quantidade de saturação}} \times 100\%$$

Exemplo: No ponto de orvalho, a 20°C, 1m³ de ar contém 17,3g de água.

Exemplo: Estime a quantidade de água condensada acumulada hora a hora numa instalação onde:

Quantidade de ar aspirado	$V = 400\text{m}^3/\text{h};$
Pressão:	$P = 8 \text{ bar};$
Temperatura ar:	$T = 323 \text{ K (50°C)};$
Umidade relativa do ar:	60%;
Umidade absoluta do ar:	?;

Solução:

Considerando:

$$\text{Umidade relativa} = \frac{\text{Umidade absoluta}}{\text{Quantidade de saturação}} \times 100\%$$

calculamos a umidade absoluta do ar (icógnita que falta):

$$\text{Umidade absoluta do ar} = \frac{\text{Umidade relativa do ar} \times \text{Quant. de saturação}}{100\%}$$

Pelo diagrama da fig. 4.1, percebemos que para uma temperatura de 323 K (50°C), teremos uma quantidade de água igual a 80 g/m³. Então:

$$\text{Umidade absoluta do ar} = \frac{60\% \times 80\text{g/m}^3}{100\%} = 48\text{g/m}^3$$

Como está sendo aspirado 400 m³/h, resulta uma quantidade de água condensada de:

$$48\text{g/m}^3 \cdot 400\text{m}^3/\text{h} = 19.200 \text{ g/h}$$

ou 19,2 Kg/h.

4.3 Filtros de Ar Comprimido

4.3.1 Filtro de ar

4.3.2 Dreno Automático

4.4 Regulador de Pressão

4.4.1 Regulador de Pressão com Exaustão

4.4.2 Regulador de Pressão sem Escape

4.5 Lubrificador de Ar Comprimido

O lubrificador tem a tarefa de abastecer suficientemente, com materiais lubrificantes, os elementos pneumáticos. Os materiais lubrificantes são necessários para garantir um desgaste mínimo dos elementos móveis, manter tão mínimos quanto possívels, as forças de atrito e proteger os aparelhos contra corrosão.

Lubrificadores de óleo trabalham geralmente segundo o princípio Venturi – ver fig. 4.2. A diferença de pressão Δp (queda de pressão), entre a pressão antes do bocal nebulizador e a pressão no ponto de estrangulamento do bocal, será aproveitada para sugar o óleo de um reservatório e misturá-lo com o ar em forma de neblina.

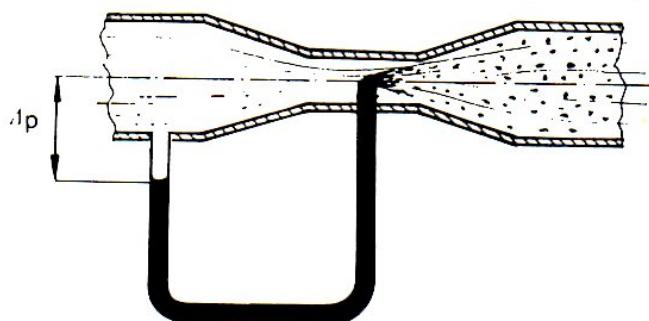


Figura 4.2: Princípio Venturi.

O lubrificador de ar somente começa a funcionar quando existe uma fluxo suficientemente grande. Quando houver uma pequena demanda de ar, a velocidade no bocal é insuficiente para gerar uma depressão (baixa pressão) que possa sugar o óleo do reservatório. Deve-se portanto estar atento aos valores de vazão (fluxo) indicados pelo fabricante.

4.5.1 Funcionamento do Lubrificador

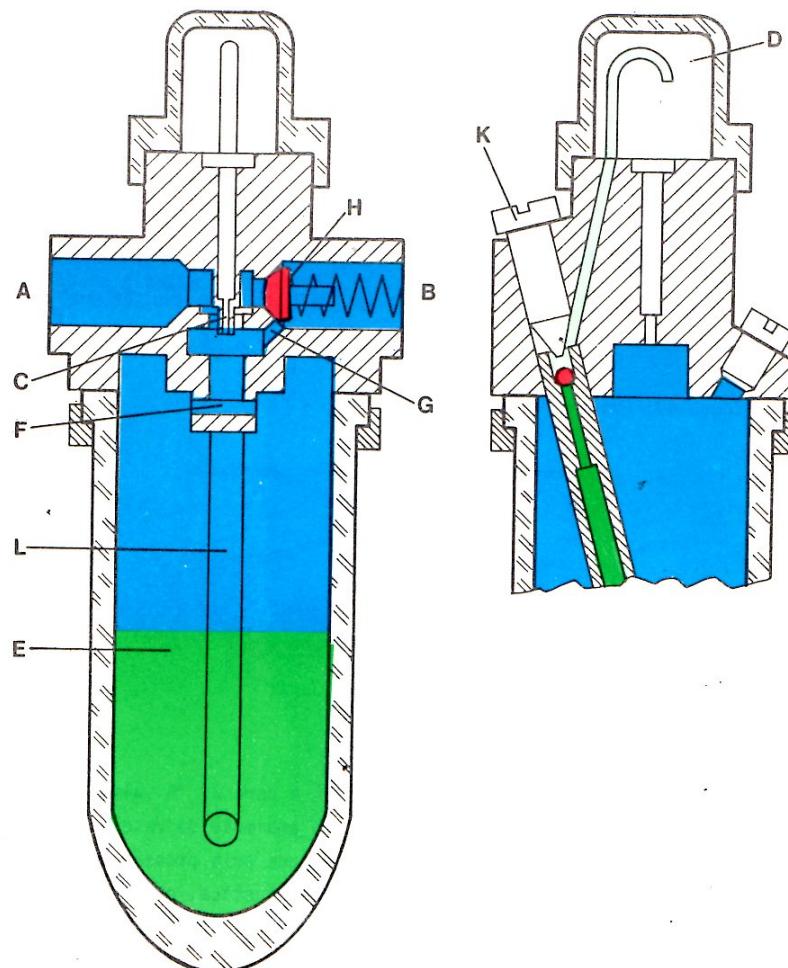


Figura 4.3: Lubrificador de ar comprimido.

Acompanhe pela fig. 4.3. A corrente de ar no lubrificador, vai de A para B. A válvula de regulagem H desvia o ar através do bocal C para o ambiente do reservatório. O ar se enriquece com óleo, o qual corre, provocada pela pressão no reservatório e pela depressão em C através da mangueira plástica, caindo no ambiente D. Com o parafuso de regulagem K, é dada a possibilidade de regular as gotas de óleo por unidade de tempo. O desvio de ar, enriquecido com óleo, é feito por intermédio da bucha F. As gotas grandes demais recaem no ambiente E. Somente a neblina ar-óleo chega através do canal G, para a saída B.

A fig. 4.4 mostra valores de vazão de lubrificadores.

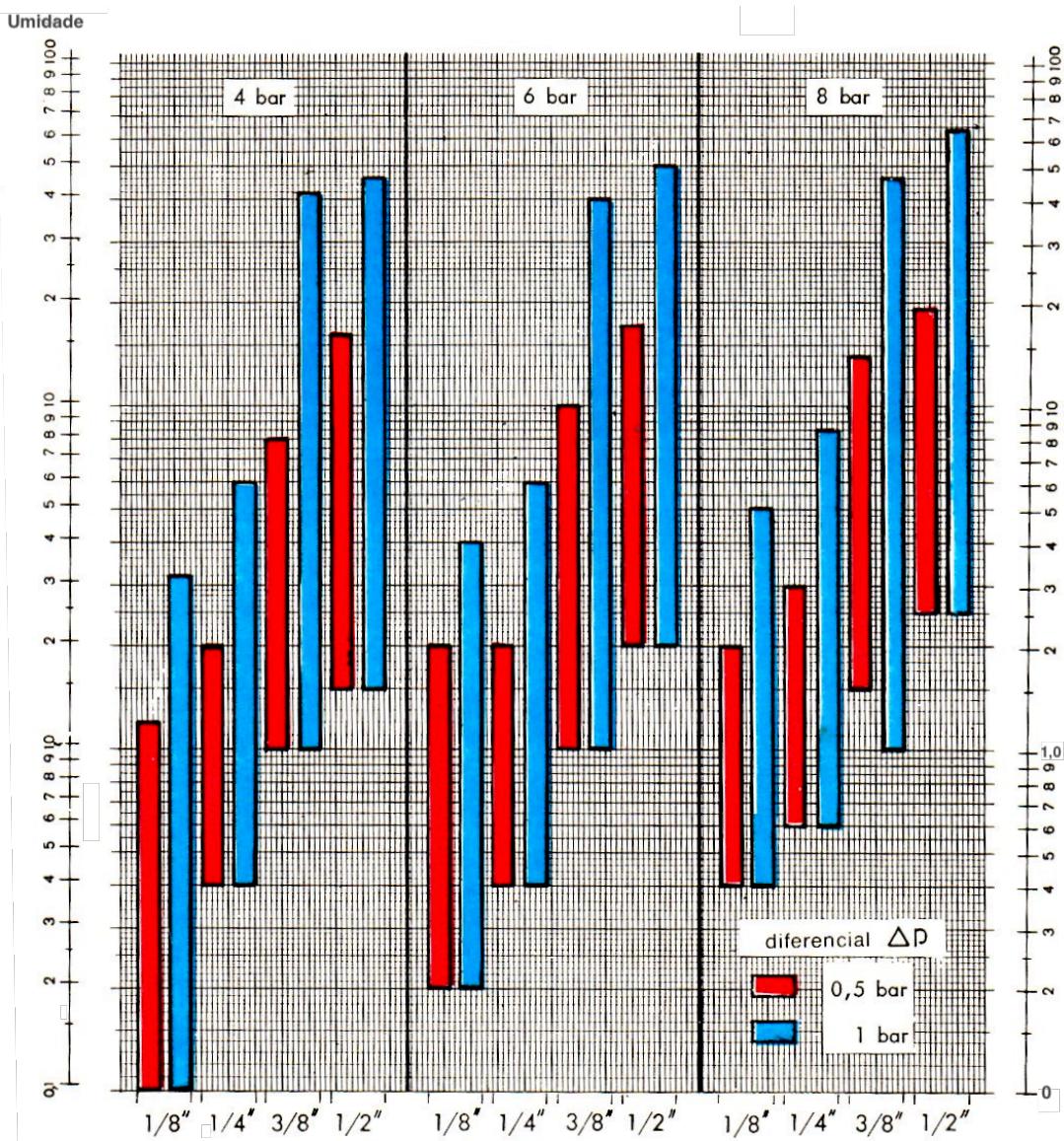


Figura 4.4: Valores de vazão de lubrificadores.

4.6 Unidade de Conservação

A unidade de conservação é uma combinação de:

- Filtro de ar comprimido;
- Regulador de ar comprimido;
- Lubrificador de ar comprimido.

A fig. 4.5 mostra uma unidade de conservação. Notar que o filtro é um elemento indispensável.

Os seguintes pontos devem ser observados:

1. A vazão total de ar em m^3/hora é determinante para o tamanho da unidade de conservação. Uma demanda (consumo) de ar grande demais provoca uma queda de pressão nos aparelhos. Deve-se observar rigorosamente os dados indicados pelo fabricante.
2. A pressão de trabalho nunca deve ser superior à indicada no aparelho. A temperatura ambiente não deve ser maior que 50°C (máximo para corpos de material sintético).

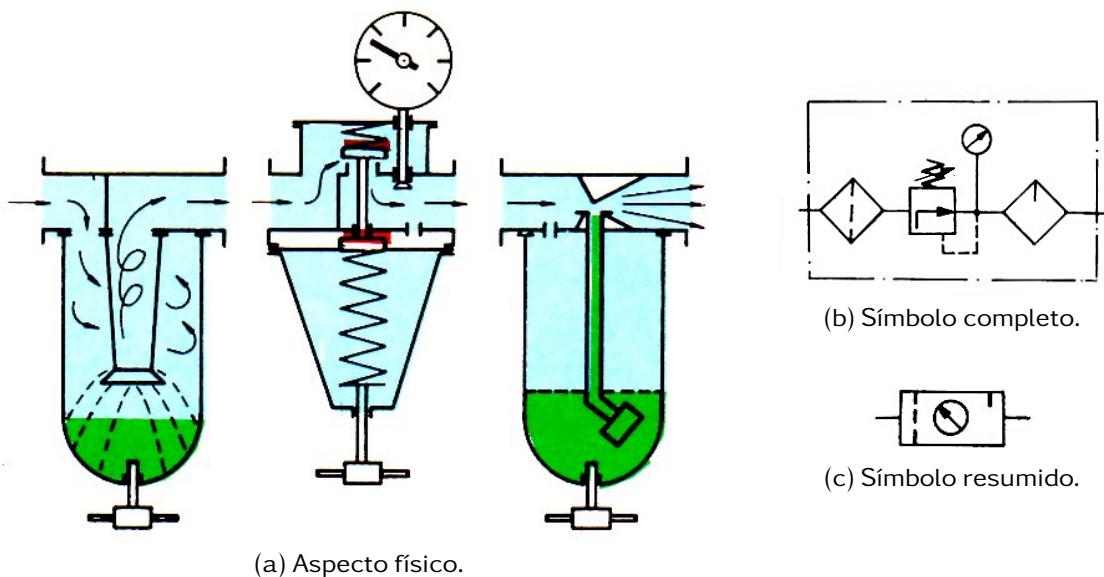


Figura 4.5: Unidade de Conservação

4.6.1 Manutenção da Unidade de Conservação

São necessários os seguintes serviços frequentes de manutenção:

- a) **Filtro de ar comprimido:** o nível de água condensada deve ser controlado regularmente, pois a altura marcada no copo indicador não deve ser ultrapassada. A água condensada acumulada pode ser arrastada para a tubulação de ar comprimido e para os equipamentos.
Para drenar a água condensada, deve-se abrir o parafuso de dreno no fundo do copo indicador. O cartucho filtrante, quando sujo, também deve ser limpo ou substituído.
- b) **Regulador de pressão de ar:** na existência de um filtro de ar comprimido antes do regulador, este não necessita de manutenção.
- c) **Lubrificador de ar comprimido:** Controlar o nível de óleo no copo indicador. Se necessário, completar o óleo até a marcação.
Filtros de material plástico e o copo do lubrificador devem ser limpos somente com querosene.
Para o lubrificador devem ser usados somente óleos minerais de baixa viscosidade (3,1 à 5 E à 20°C).

4.6.2 Valores da Capacidade de Passagem de Unidades de Conservação

Todos os aparelhos têm uma resistência interna, razão pela qual verifica-se na saída dos mesmos, uma determinada queda de pressão. A mesma depende da vazão e da correspondente pressão de alimentação.

No diagrama da fig. 4.6 estão representadas várias curvas para um aparelho.

Cada curva corresponde a uma pressão de entrada, isto é, 1 bar, 2 bar, 4 bar e 6 bar.

Na horizontal está representada a perda de pressão μp . Esta é formada pela diferença entre a pressão na entrada do regulador de pressão (P_1) e a pressão na saída após o aparelho (P_2).

A perda máxima de pressão μp pode ser correspondente ao valor P_2 . Neste caso, a resistência após o aparelho desceu ao valor 0 e portanto, a vazão é máxima.

Exemplo: a passagem com $P_1 = 6$ bar e $uP = 0,5$ bar ($P_2 = 5,5$ bar), dá por resultado uma vazão de $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, aproximadamente.

Por esta razão, a escolha correta de uma unidade de conservação para uma instalação deve ser feita com o máximo de cuidado. Caso não haja instalado nenhum reservatório após a unidade de conservação, deverá ser tido em consideração o consumo máximo por unidade de tempo.

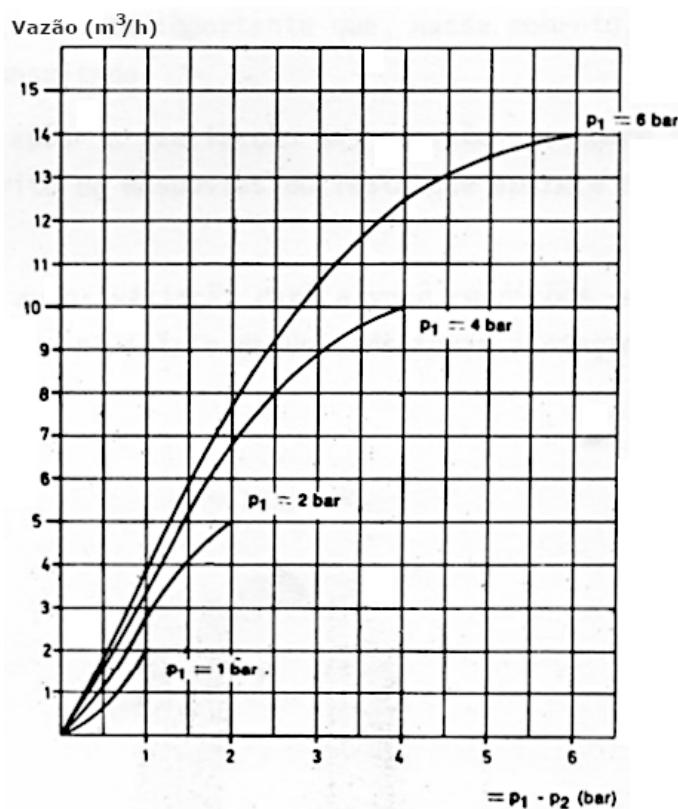


Figura 4.6: Curva de perda de pressão.

Capítulo 5

Elementos Pneumáticos de Trabalho

5.1 Elementos de Função Retilínea (Cilindros)

A energia pneumática será transformada, por cilindros pneumáticos, em movimentos retilíneos e pelos motores pneumáticos em movimentos rotativos.

A geração de um movimento retilíneo com elementos mecânicos, conjugados com acionadores elétricos, é relativamente custosa e ligada a certas dificuldades de fabricação e durabilidade.

5.1.1 Cilindros de Ação Simples

5.1.2 Cilindros de Êmbolo

5.1.3 Cilindros de Membrana Plana

5.1.4 Cilindros de Membrana de Projeção

5.1.5 Cilindro de Ação Dupla

5.1.6 Cilindro com Amortecimento nos fins de curso

5.1.7 Cilindros de dupla ação em execução especial

5.1.8 Cilindro Tandem

5.1.9 Cilindro de Posição Múltipla

5.1.10 Cilindro de Impacto (Percusssor)

O uso dos cilindros pneumáticos normais na técnica de deformação é limitado. Um cilindro ideal para uma alta energia cinética é o cilindro de impacto. Segundo a equação para energia cinética, a aceleração é o caminho lógico para altas energias de impacto. Ou seja:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} = \text{Energia em } \frac{\text{Kg m}^2}{\text{s}^2} = \text{Nm} = \text{Joule}$$

onde: m = massa em Kg; v = velocidade em m/s.

Cilindros percursores desenvolvem uma velocidade de 7,5 à 10 m/s (velocidade normal: 1 à 2 m/s). Esta velocidade só pode ser alcançada por uma construção especial.

5.1.11 Cilindros de Cabos (cilindro tracionador de cabos)

5.1.12 Cilindro Rotativo

5.1.13 Cilindro de Aleta Giratória

5.2 Tipos de Fixação

5.3 Construção do Cilindro

5.4 Cálculos dos Cilindros

5.4.1 Força do Êmbolo

A força do êmbolo exercida com o elemento de trabalho, depende da pressão do ar, do diâmetro do cilindro e da resistência de atrito dos elementos de vedação. A fig. 5.1 exemplifica alguns casos.

A força teórica do êmbolo pode ser calculada como:

$$F_{th} = A \cdot p$$

onde: F_{th} = força do êmbolo (Kp);
 A = seção transversal (área) útil do êmbolo (cm^2);
 p = pressão de trabalho (bar, Kp/cm²).

Na prática é importante a força efetiva do êmbolo. Ao calculá-la, a resistência de atrito deve ser considerada. Em condições normais de trabalho (faixa de pressão entre 4 à 8 bar), esta resistência pode absorver de 3 à 20% da força alcançada.

Equações:

Cilindro de Ação Simples:

$$F_n = A \cdot p - (F_R + F_F)$$

Cilindro de Dupla Ação:

$$F_n = A \cdot p - F_R$$

Cilindro de Dupla Ação (retrocesso)

$$F_n = A' \cdot p - F_R$$

onde: F_n = Força efetiva do êmbolo (Kp);

A = área útil da seção transversal do êmbolo (cm^2):

$$= \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi \quad (\text{cm}^2);$$

A' = seção transversal (área) útil do êmbolo (cm^2);

$$= (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad (\text{cm}^2);$$

p = pressão de trabalho (bar, Kp/cm²);

F_R = resistência do atrito (Kp) (3 ~ 20% de F_{th});

F_F = força da mola de retorno (Kp);

D = diâmetro do cilindro (cm);

d = diâmetro da haste do êmbolo (cm).

Exemplo: Deseja-se estimar $F_n = ?$ (força efetiva),

dados: $D = 50$ mm;
 $d = 12$ mm;
 $F_R = \text{valor médio } 10\%.$

Calculando superfície do êmbolo:

$$A = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm} \cdot \frac{3,14}{4} = 19,625 \text{ cm}^2.$$

Calculando superfície do anel do êmbolo:

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (25 \text{ cm}^2 - 1,44 \text{ cm}^2) \cdot \frac{3,14}{4} = 18,5 \text{ cm}^2.$$

Força de avanço do êmbolo:

Força teórica do êmbolo:

$$F_{th} = A \cdot p = 19,625 \text{ cm}^2 \cdot 6 \text{ bar} = 117,75 \text{ Kp.}$$

$$\text{Resistência de atrito: } 10\% \Rightarrow F_R = 11,775 \text{ Kp.}$$

Força efetiva do êmbolo:

$$F_n = A' \cdot p - F_R = 19,625 \text{ cm}^2 \cdot 6 \text{ bar} - 11,775 \text{ Kp} = 106 \text{ Kp.}$$

Força de retrocesso do êmbolo:

Força teórica do êmbolo:

$$F_{th} = A' \cdot p = 18,5 \text{ cm}^2 \cdot 6 \text{ bar} = 111,0 \text{ Kp.}$$

$$\text{Resistência de atrito: } 10\% \Rightarrow F_R = 11,1 \text{ Kp.}$$

Força efetiva do êmbolo:

$$F_n = A' \cdot p - F_R = 18,5 \text{ cm}^2 \cdot 6 \text{ bar} - 11,1 \text{ Kp} = 100 \text{ Kp.}$$

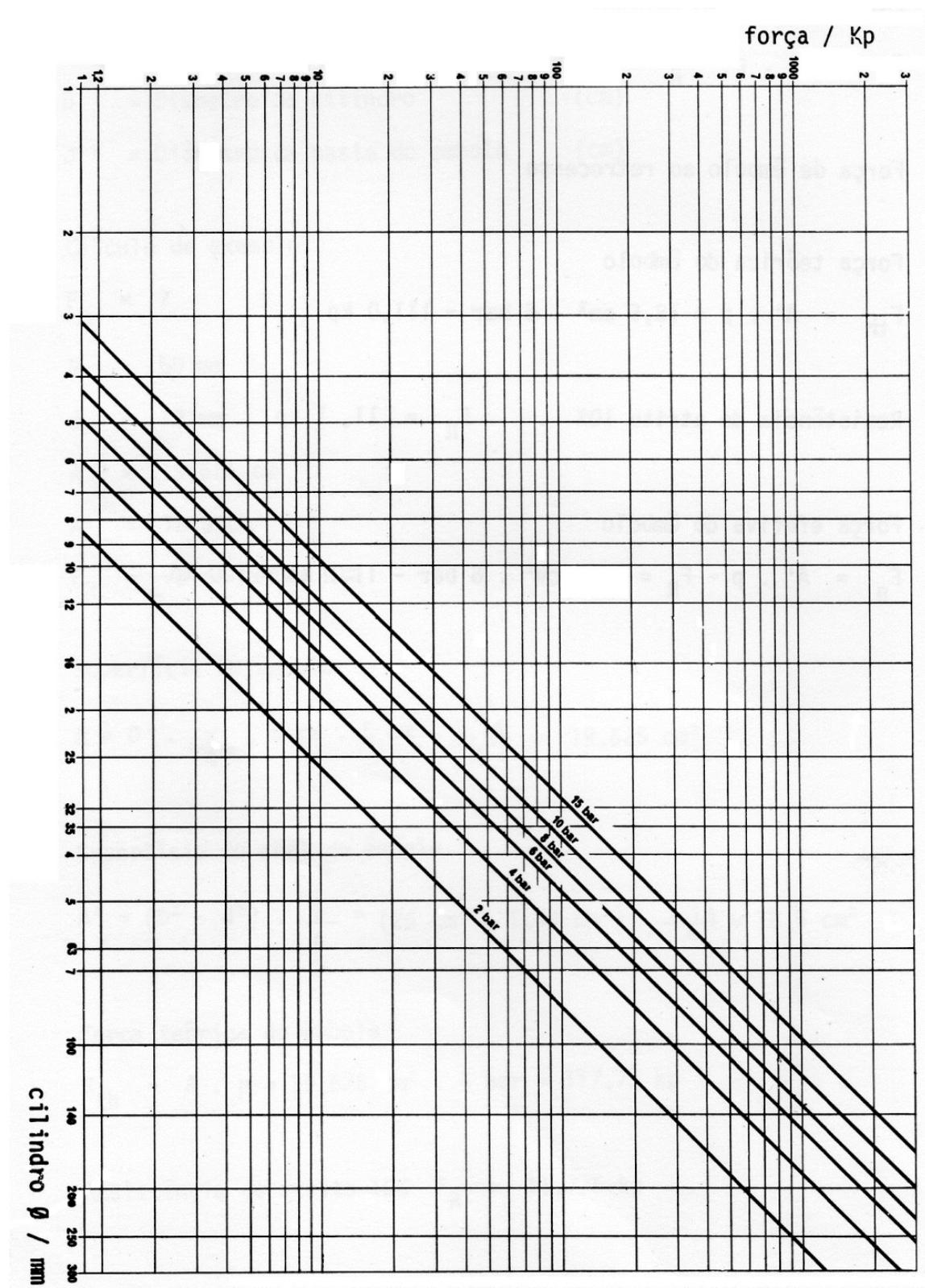


Figura 5.1: Diagrama de pressão x força de cilindros.

5.4.2 Comprimento de Curso

O comprimento do curso em cilindros pneumáticos não deve ser maior do que 2000 mm. A pneumática não é mais rentável quando de êmbolo de diâmetro grande e de curso muito longo, pois o consumo de ar é muito alto.

Em cursos longos, a carga mecânica sobre a haste do êmbolo e nos mancais é grande. Para evitar flambagem (ver fig. 5.2), é necessário determinar o diâmetro da haste do pêndulo, um pouco maior. Além disto é aconselhável prolongar as buchas de guias da haste do pêndulo.

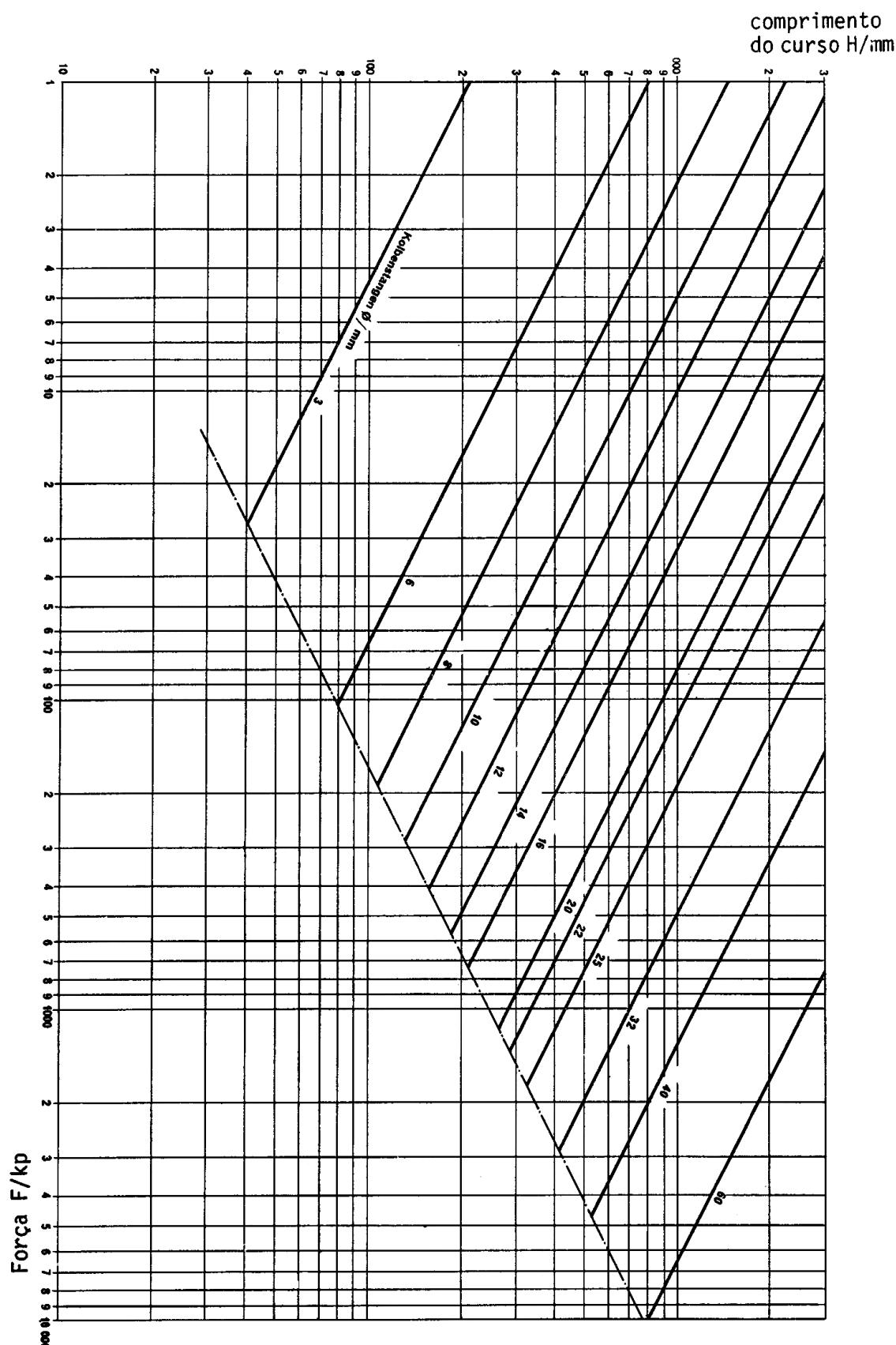
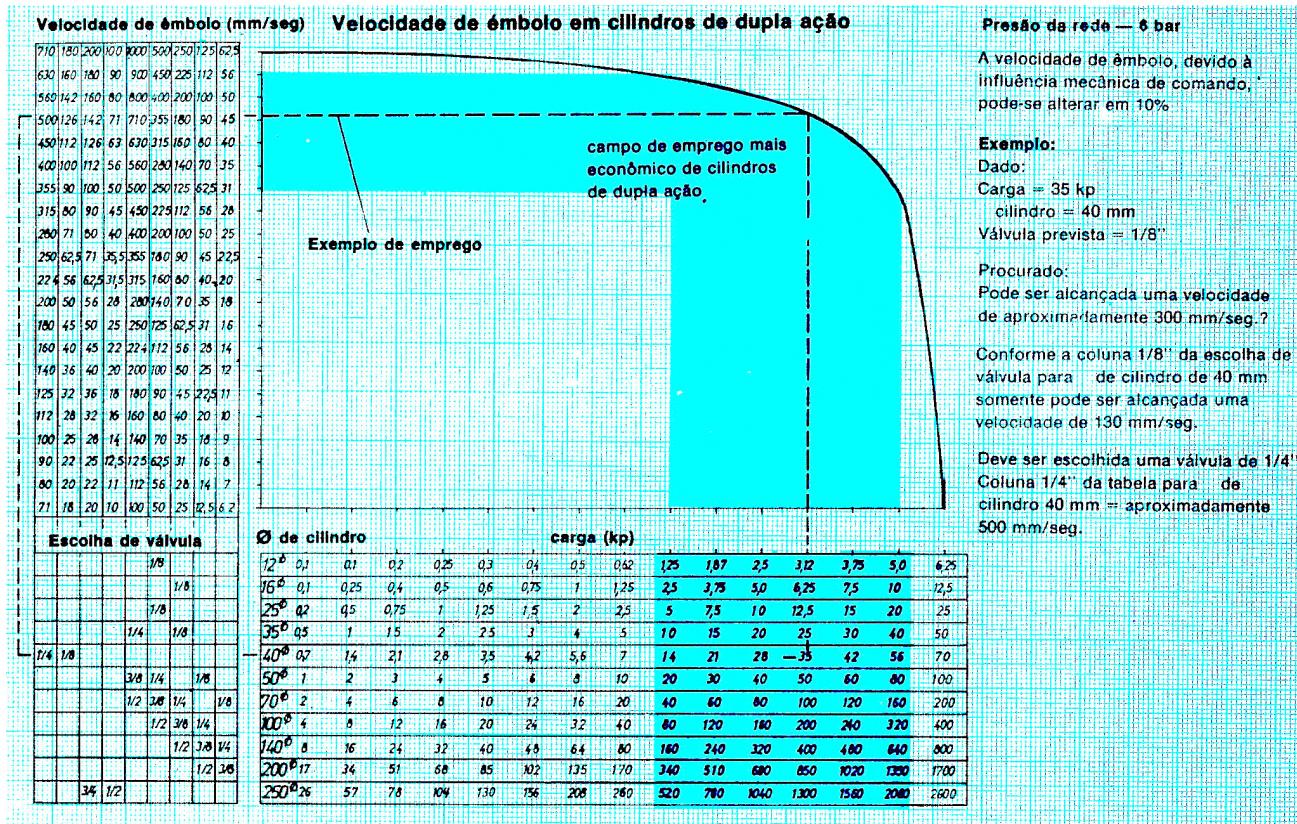


Figura 5.2: Diagrama de flambagem de cilindros.

5.4.3 Velocidade de Cilindros

A velocidade de cilindros pneumáticos depende da carga, da pressão de ar, do comprimento da tubulação entre a válvula e o cilindro, bem como da vazão da válvula de comando – ver fig 5.3.



Método Analítico:

Equações:

a) Para cilindros de Ação simples:

$$Q = s \cdot n \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot [\text{relação de compressão (l/m)}]$$

b) Para cilindros de Dupla ação:

$$Q = \left[s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot [\text{relação de compressão (l/m)}]$$

onde: Q = volume de ar (fluxo) (l/min);

s = comprimento do curso (cm);

n = número de cursos por minuto;

D = diâmetro do cilindro (cm);

d = diâmetro da haste do êmbolo (cm);

Exemplo: Deseja-se estimar o consumo de ar de um cilindro de dupla ação com diâmetro de 50 mm, diâmetro de haste de êmbolo de 12 mm e 100 mm de curso? O cilindro faz 10 cursos por minuto. A pressão de trabalho é de 6 bar.

Solução:

Relação de compressão:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1,013 + (\text{pressão de trabalho})}{1,013} = \frac{1,013 + 6}{1,013} = 6,9$$

Consumo de ar:

$$\begin{aligned} Q &= \left[s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot [\text{relação de compressão (l/m)}] \\ &= \left[10 \text{ cm} \cdot \frac{25 \text{ cm}^2 \cdot 3,14}{4} + 10 \text{ cm} \cdot \frac{(25 \text{ cm}^2 - 1,44 \text{ cm}^2) \cdot 3,14}{4} \right] \cdot 10 \text{ min}^{-1} \cdot 6,9 \\ &= (196,25 \text{ cm}^3 + 184,94 \text{ cm}^3) \cdot 10 \text{ min}^{-1} \cdot 6,9 \\ &= 381,2 \text{ cm}^3 \cdot 69 \text{ min}^{-1} \\ &= 26.302,8 \text{ cm}^3/\text{min} \\ &= 26,3 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Método de resolução usando diagrama:

Com base no diagrama da fig. 5.4, o consumo de ar pode ser verificado de forma mais simples e rapidamente.

Os valores são por cm de curso para os usuais diâmetro de cilindro e para pressões de 1 à 15 bar. O consumo de ar é dado em litros de ar aspirado por minuto.

Equações:

a) Cilindro de ação simples:

$$Q = s \cdot n \cdot q \quad (\text{l/min})$$

b) Cilindro de dupla ação:

$$Q = 2 \cdot (s \cdot n \cdot q) \quad (\text{l/min})$$

onde: Q = volume de ar (fluxo) (l/min);

s = comprimento do curso (cm);

n = número de cursos por minuto;

q = consumo de ar por cm de curso.

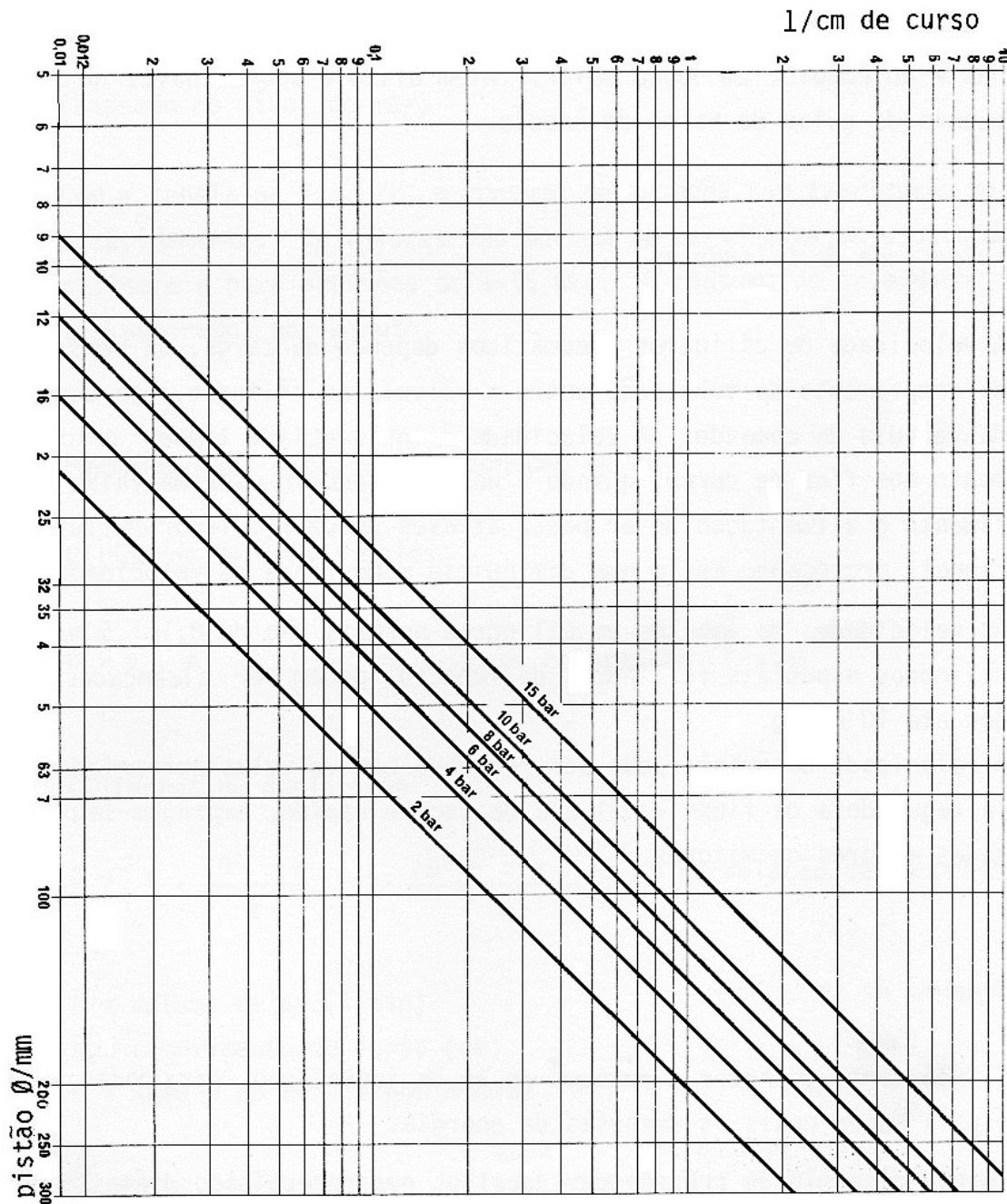


Figura 5.4: Diagrama para estimativa de consumo de ar de cilindros.

Exemplo: Voltando ao mesmo caso do exemplo anterior, mas usando o método baseado em diagrama (fig. 5.4) teremos:

Solução:

$$\begin{aligned}
 Q &= 2 \cdot (s \cdot n \cdot q) \\
 &= 2 \cdot (10 \text{ cm} \cdot 10 \cdot 0,134 \text{ l/cm}) \\
 &= 2 \cdot 13,4 \text{ l/min} \\
 &= 26,8 \text{ l/min}
 \end{aligned}$$

Ao calcular o consumo de ar deve ser também considerado o volume dos ambientes secundários, os quais também se enchem em cada curso (tubos, válvulas, etc). Estes valores podem ser estimados via tabela 5.1.

Diâmetro do pistão (mm)	Lado anterior (cm ³)	Lado posterior (cm ³)
12	1	0,5
16	1	1,2
25	5	6
35	10	13
50	16	19
70	27	31
100	80	88
140	128	150
200	425	448
250	2005	2337

Obs.: 1000 cm³ = 1 litro.

Tabela 5.1: Tabela para estimar consumo de ambientes secundários.

Capítulo 8

Válvulas

8.1 Introdução

Os comandos pneumáticos consistem em elementos de sinal, elementos de comando e elementos de trabalho. Os elementos de sinal e de comando influenciam o processo dos trabalhos, razão pela qual serão denominados de “válvulas”.

As válvulas são aparelhos de comando ou regulagem de partida, parada e direção. Elas comandam também a pressão ou a vazão do meio de pressão armazenada em um reservatório ou movimentada por uma hidro bomba.

A denominação “válvula” é válida correspondendo à linguagem internacionalmente usada para todos os tipos de construção: registros, válvulas de esfera, válvulas de assento, válvulas direcionais, etc. Esta validade é definida pela norma DIN 24 300 conforme recomendação CETOP (Comissão Européia de Transmissões de Óleo - hidráulicas e pneumáticas).

As válvulas, segundo suas funções, serão divididas em cinco grupos;

1. Válvulas direcionais;
2. Válvulas de bloqueio;
3. Válvulas de pressão;
4. Válvulas de fluxo (vazão);
5. Válvulas de fechamento.

8.2 Valores de Vazão em Válvulas

A queda de pressão e vazão em válvulas pneumáticas são fatores importantes para o usuário. A escolha depende de:

- Volume e velocidade dos cilindros;
- Número de comandos necessários;
- Queda de pressão admissível.

É inevitável marcar os elementos pneumáticos com a vazão nominal Q_N . Ao calcular os valores de vazão, devem ser considerados diversos fatores. Durante a medição da válvula, flui pela mesma em uma direção água ou ar. A pressão de entrada é conhecida, a pressão de saída pode ser medida. Dos 2 fatores, pode-se obter a diferença de pressão ΔP .

Com um medidor de pressão, será medida a quantidade de ar passante – ver fig. 8.1.

Fatores envolvidos com cálculos de vazão em válvulas:

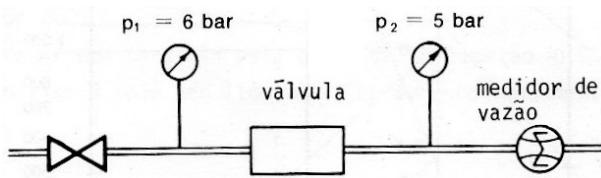


Figura 8.1: Pressões associados com uma válvula.

- p_1 = Pressão no lado de entrada da válvula (bar);
 p_2 = Pressão no lado de saída da válvula (bar);
 ΔP = Diferença de pressão, $p_1 - p_2$ (bar);
 T_1 = Temperatura (K);
 Q_N = Vazão nominal (l/min).

Na fig. 8.1, o valor Q_N é um valor de aferição para pressão de 6 bar, associado com uma queda de pressão $\Delta P = 1$ bar, a uma temperatura de 293 K (20°C).

A vazão nominal V_N será calculada quando trabalhando com outra pressão, outra temperatura e outra queda de pressão.

8.2.1 Uso de Monograma

Para evitar cálculos demorados, podemos encontrar facilmente valores de vazão, utilizando o monograma mostrado na fig. 8.2.

Uso do monograma:

Passo 1: Ligando os eixos A e C com os valores fornecidos, obter um ponto de intersecção no eixo B. Este ponto será necessário para averiguar a vazão nominal V_N .

Passo 2: Ligar o valor $Z = 1$ no eixo B com o valor correspondente Q_N no eixo D.

Passo 3: Por uma reta paralela a esta linha, cobrir o ponto averiguado no eixo B. Assim obtém-se o valor V_N no eixo D.

Segue-se 3 exemplos, mostrando como se utiliza e interpreta este monograma.

Exemplo 1: Dados:

$p_1 = 8$ bar, $p_2 = 7,8$ bar, $\Delta P = 0,2$ bar, $Q_N = 200$ l/min.

Procurado: vazão nominal V_N .

Solução: Unir 0,2 bar no eixo A e 8,8 bar no eixo C (sempre considerar a pressão absoluta, portanto: 7,8 bar + 1 bar = 8,8 bar). O próximo passo é a interligação do valor $Z = 1$ no eixo B, com o valor 200 no eixo D. Traçar então uma reta paralela pelo ponto de intersecção 0,55 no eixo B. No eixo D pode ser lido um valor de aproximadamente 110 l/min.

Exemplo 2: Dados:

$p_1 = 7$ bar, $p_2 = 6$ bar, $\Delta P = 1$ bar, $Q_N = 920$ l/min.

Procurado: vazão nominal V_N .

Solução: Interligar $\Delta P = 1$ no eixo A com 7 bar no eixo C (pressão absoluta). Valor $Z = 1$, unir com $Q_N = 920$ l/min. A reta paralela pelo ponto de intersecção achado, resulta numa vazão de nominal V_N aproximadamente 1.080 l/min.

Exemplo 3: Dados:

$p_1 = 10$ bar, $p_2 = 8$ bar, $\Delta P = 2$ bar, $Q_N = 1250$ l/min.

Procurado: vazão nominal V_N .

Solução: Unir $\Delta P = 2$ bar no eixo A com 9 bar do eixo C (pressão absoluta). Unir o valor $Z = 1$ como $Q_N = 1250$ l/min. A reta paralela através do ponto de intersecção no eixo B, dá como resultado uma vazão nominal $V_N = 2350$ l/min aproximadamente.

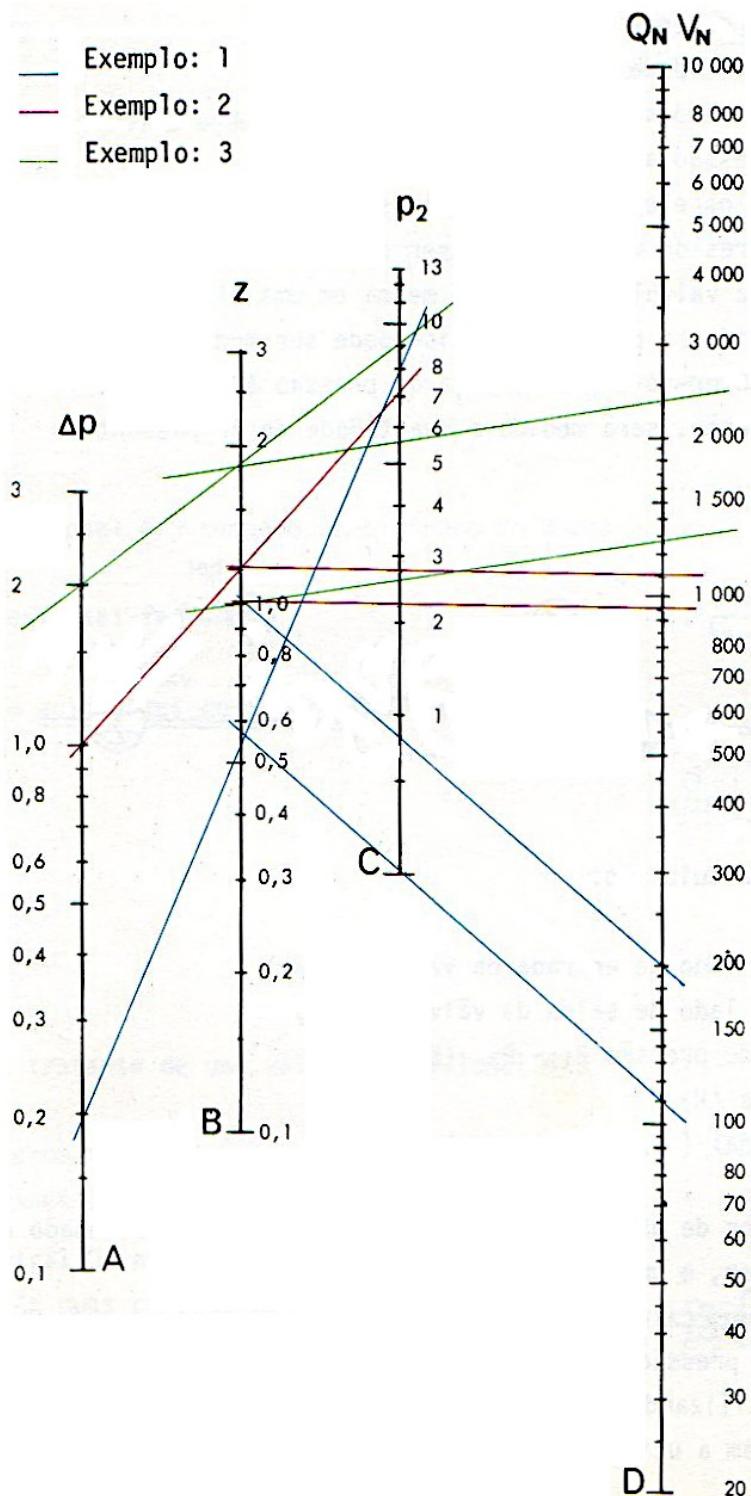


Figura 8.2: Monograma para estimar vazão em válvulas.

Capítulo 9

Sequencia de Movimentos

Quando os procedimentos de comando são um pouco mais complicados e se de devem reparar instalações de certa envergadura, é uma grande ajuda para o técnico de manutenção dispor dos esquemas de comando e sequencias segundo o desenvolvimento de trabalho das máquinas.

Pode ser interessante (mais rentável), basear a montagem e busca de defeitos usando-se esquemas de comando e de sequências de uma máquina. Para levantar estes esquemas é necessário se conhecer todas as possibilidades e formas de representação.

Exemplo: Pacotes que chegam sobre um transportador de rolos (fig. 9.1) são elevados por um cilindro pneumático A e empurrados por um segundo cilindro B sobre um segundo transportador. Nota-se que o cilindro B deverá retornar apenas quando A houver alcançado a posição final posterior.

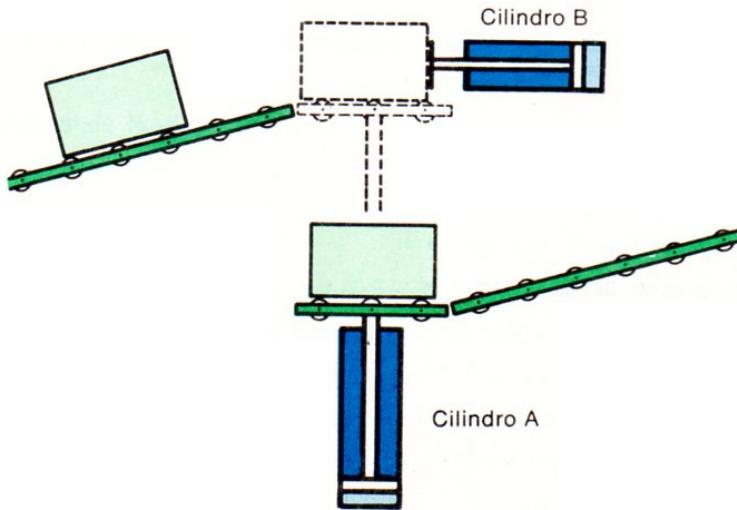


Figura 9.1: Exemplo de aplicação com sequencias de acionamento.

Analizando-se o problema da fig. 9.1, nota-se as seguintes possibilidades de representação de sequencias de trabalho:

Relação em Sequencia cronológica: a relação neste caso seria:

- O cilindro A avança e eleva os pacotes;
- O cilindro B empurra os pacotes sobre o transportador;
- O cilindro A desce;
- O cilindro B retrocede.

Forma de tabela: neste caso:

Passo de trabalho	Movimento Cilindro A	Movimento Cilindro B
1	para frente	–
2	–	para frente
3	para trás	–
4	–	para trás

Diagrama de Setas: representação simplificada:

onde: o avanço é representado por → e o retorno é representado por ←:

A →

B →

A ←

B ←

Modo abreviado: onde:

Designação para avanço: +;

Designação para retorno: –; então neste caso teremos:

A+, B+, A–, B–.

Representação gráfica em forma de diagrama: a diretriz VDI 3260 (edição de fevereiro de 1963) ocupa-se entre outros assuntos das possibilidade de representação de sequencias de funcionamento de máquinas operatrizes e instalações de fabricação. Esta diretriz foi revisada e se baseia atualmente nas definições de termos da antiga norma DIN 19226.

Para representação gráfica de sequencias de acionamento, pode-se distinguir:

$$\text{Diagrama de Funcionamento} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Diagrama de Movimento} \\ + \\ \text{Diagrama de Comando} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Diagrama de Trajeto e Passo, ou;} \\ \text{Diagrama de Trajeto e Tempo.} \end{array} \right\}$$

Enquanto no diagrama de movimento se fixam os estados de elementos de trabalho e de unidades construtivas, o diagrama de comando fornece informação sobre o estado de elementos de comando individuais.

9.1 Diagramas de Movimento

9.1.1 Diagrama de Trajeto e Passo

Neste caso, se representa a sequencia de operação de um elemento de trabalho, levando-se ao diagrama o valor percorrido em dependência de cada passo considerado (passo: variação de estado de qualquer unidade construtiva). Se existirem diversos elementos de trabalho para um comando, estes são representados da mesma maneira e desenhados uns sobre os outros. A correspondência é realizada através dos passos.

Para o cilindro pneumático A, resulta por exemplo, o diagrama de trajeto e passo apresentado na fig. 9.2.

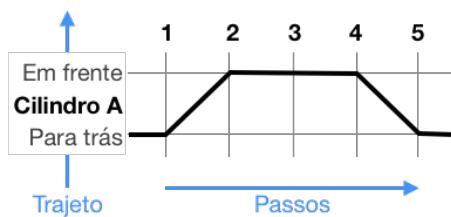


Figura 9.2: Exemplo de diagrama de trajeto e passo.

O trajeto não é representado em escala, mas com tamanho igual para todas as unidades construtivas. A distância dos trajetos, em várias unidades, não deve ser escolhida pequena demais (1/2 a 1 passo). A numeração dos passos é arbitrária. A designação da unidade em questão deve ser posicionada à esquerda do diagrama.

Para o problema da fig. 9.1 (pág. 49) resulta no diagrama de trajeto e passo mostrado na fig. 9.3.

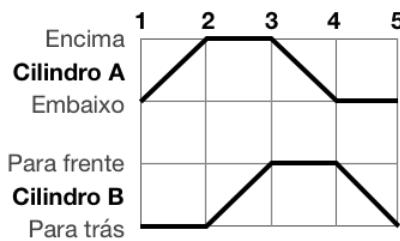


Figura 9.3: Diagrama de trajeto e passo para problema da fig. 9.1.

9.1.2 Diagrama de Trajeto e Tempo

Neste caso, o trajeto de uma unidade construtiva é representado em função do tempo. Contrariamente ao diagrama de trajeto e passo, o tempo é representado linearmente e constitui a ligação entre as diversas unidades.

A representação do estado é arbitrária. Pode ser realizada como no exemplo, através da indicação da posição do cilindro (atrás, para frente, encima, embaixo, etc.) ou também através de sinais binários (por exemplo: 0 para a posição final traseira, L ou 1 para a posição final dianteira).

Para o problema da fig. 9.1 (pág. 49) resulta no diagrama de trajeto e tempo mostrado na fig. 9.3.

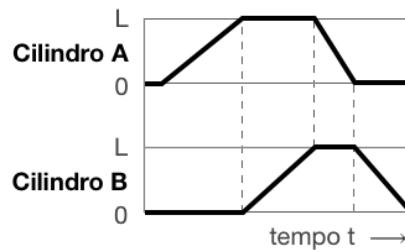


Figura 9.4: Diagrama de trajeto e tempo para exemplo da fig. 9.1.

A correspondência com o diagrama de trajeto e passo torna-se clara através das linhas de união pontilhadas (linhas de passo), cuja distância, neste caso, não é mais representada em escala.

Enquanto o diagrama de trajeto e passo fornece uma possibilidade de supervisão melhor das correlações, no diagrama de trajeto e tempo podem ser representadas mais claramente sobreposições e diferenças de velocidade de trabalho.

9.2 Diagrama de Comando

Num diagrama de comando, o estado de comutação de um elemento de comando é representado em dependência dos passos ou dos tempos, significa que o tempo de comutação é levado em conta.

Por exemplo, a fig. 9.5 mostra o estado de abertura do relé b1.

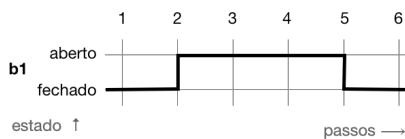


Figura 9.5: Exemplo de diagrama de comando para um relé (b1).

A passagem para o diagrama do movimento se dá através dos passos ou através do tempo.

Recomenda-se que o diagrama de comando seja desenhado em combinação com o diagrama do movimento. Que os passos ou tempos devem ser representados de forma linear e horizontalmente. A altura e a distância são arbitrárias, entretanto, devem ser mantidas uma proporção para facilitar supervisão.

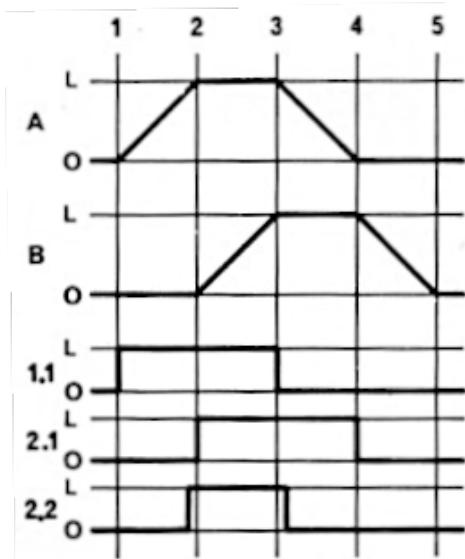


Figura 9.6: Diagrama de funcionamento para exemplo da fig. 9.1.

9.3 Diagrama de Funcionamento

O diagrama de funcionamento (diagrama de movimento e de comando) para o exemplo da fig. 9.1 (pág. 49) é representado na fig. 9.6. Neste último diagrama estão representados os estados das válvulas distribuidoras que comandam os cilindros (1.1 para A; 2.1 para B) e o estado de uma chave de fim de curso 2.2, instalada na posição final dianteira do cilindro A.

Note que os tempos de comutação dos equipamentos não são considerados no diagrama de comando. Entretanto, como mostrado na fig. 9.6, na chave de fim de curso 2.2, linhas de acionamento para chaves de fim de curso devem ser desenhadas antes ou após a linha de passo, uma vez que na prática, o acionamento também não se dá exatamente no final do curso, mas certo tempo antes ou depois. Esta forma de representação determina circunstâncias definidas, uma vez que se torna explícito que o sinal está totalmente presente em cada passo, portanto já sobre uma linha de passo.

A fig. 9.7 mostra um esquema de comando para o exemplo da fig. 9.1.

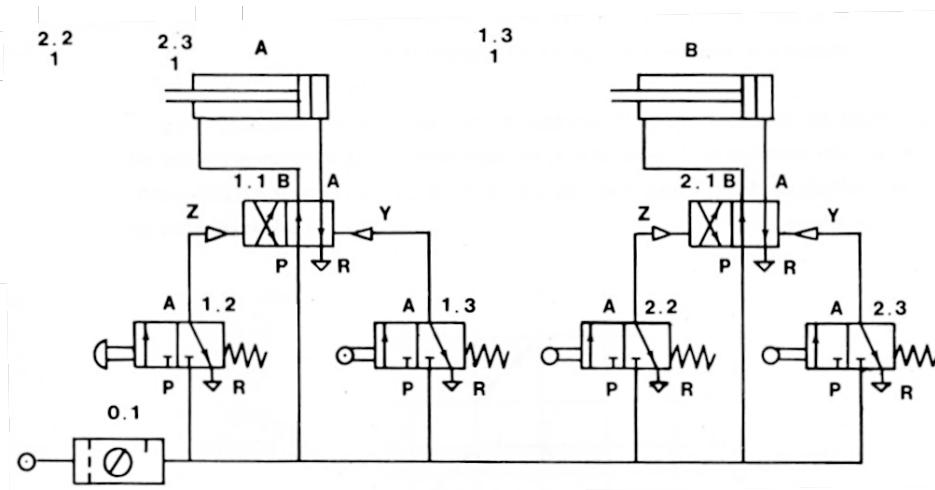


Figura 9.7: Esquema de comando para exemplo da fig. 9.1.

9.4 Tipos de Esquemas

Tal como no diagrama de movimentos, temos também 2 possibilidade na construção dos esquemas. Ambos indicam a mesma coisa:

Tipos de Esquemas Esquema de Comando de Posição; ou
Esquema de Comando de Sistema.

9.4.1 Esquema de comando de posição

A fig. 9.8 mostra um exemplo de esquema de comando de posição.

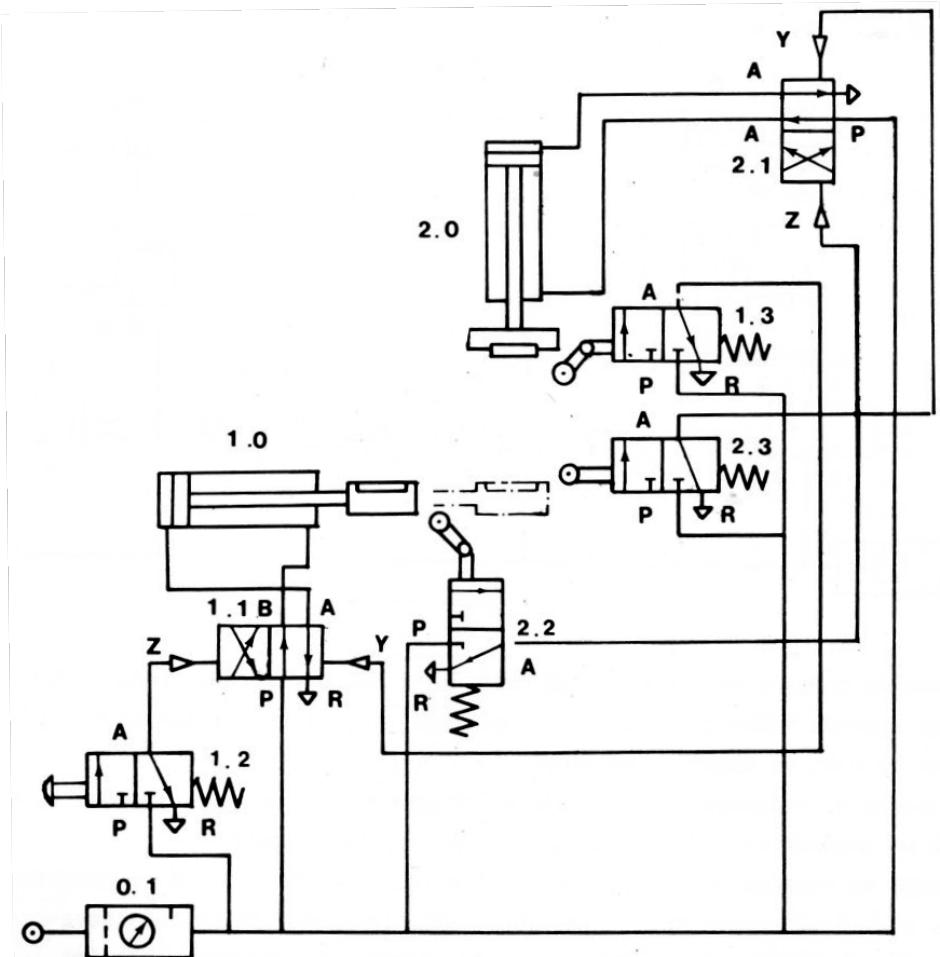


Figura 9.8: Exemplo de esquema de comando de posição.

Neste tipo de esquema são simbolizados todos os elementos (cilindros, válvulas e unidades de manutenção) onde realmente ocorrem na instalação.

Esta forma de representação é vantajosa para o montador, porque à partir deste tipo de esquema, o mesmo pode perceber de imediato onde realmente deve montar os elementos. Porém, neste tipo de representação, temos como resultado, muitos cruzamentos de condutores e podem ocorrer facilmente falhas na conexão dos elementos pneumáticos.

9.4.2 Esquema de comando de sistema

A fig. 9.9 mostra um exemplo de esquema de comando de sistema.

Este esquema está baseado em uma ordenação (ou hierarquia). Esta ordenação se obtém desenhando todos os símbolos pneumáticos em sentido horizontal e dividindo o comando em cadeias (de comando) individuais.

A combinação de comandos básicos simples de funções iguais ou diferentes, dá como resultado um comando mais amplo, com muitas cadeias de comando.

Neste esquema, fácil de ler, não há cruzamentos de linhas, e se há, é em número muito limitado. Aos elementos pneumáticos deve-se dar uma denominação numérica. Nesta representação, estas denominações devem aparecer para indicar a posição que ocupam os diferentes elementos.

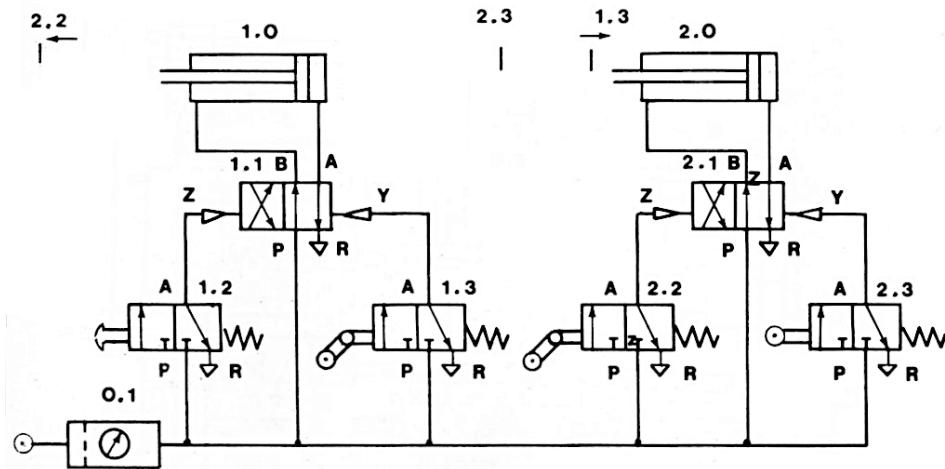


Figura 9.9: Exemplo de esquema de comando de sistema.

9.5 Notações para Denominação de Elementos

Notação adotada:

- 1.0, 2.0, 3.0, ... Elementos de trabalho (cilindro, motores pneumáticos, unidades de avanço, etc). Um elemento de trabalho com as correspondentes válvulas é considerado como cadeia de comando. O primeiro número da denominação do elemento indica a que cadeia de comando pertence o elemento.
- 1.1, 2.1, 3.1, ... Elementos de comando e elementos de sinal. O número depois do ponto indica de que elemento se trata. O número ímpar depois do ponto está normalmente associado com o retrocesso do elemento de trabalho.
- 1.2, 2.6, 3.2... O número par depois do ponto está normalmente indicando o avanço de um elemento de trabalho.
- 0.1, 0.2, ... Indica elementos auxiliares (unidade de manutenção, válvula de abertura e fechamento). Estes elementos influenciam todas as cadeias de comando.

Exemplos: ver fig. 9.10 e fig 9.11.

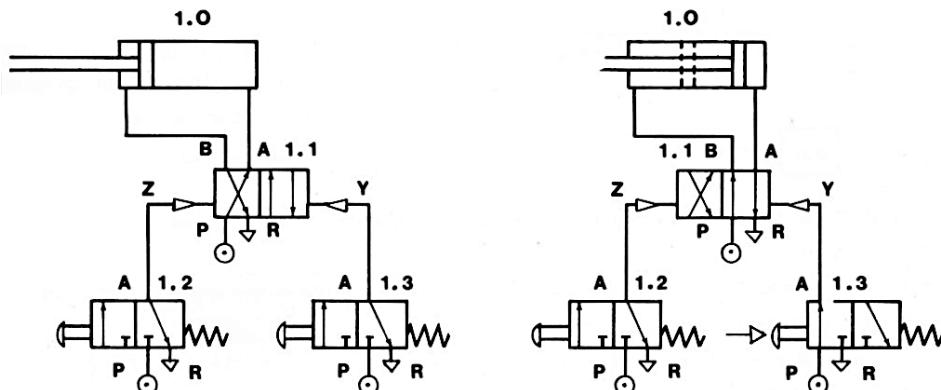
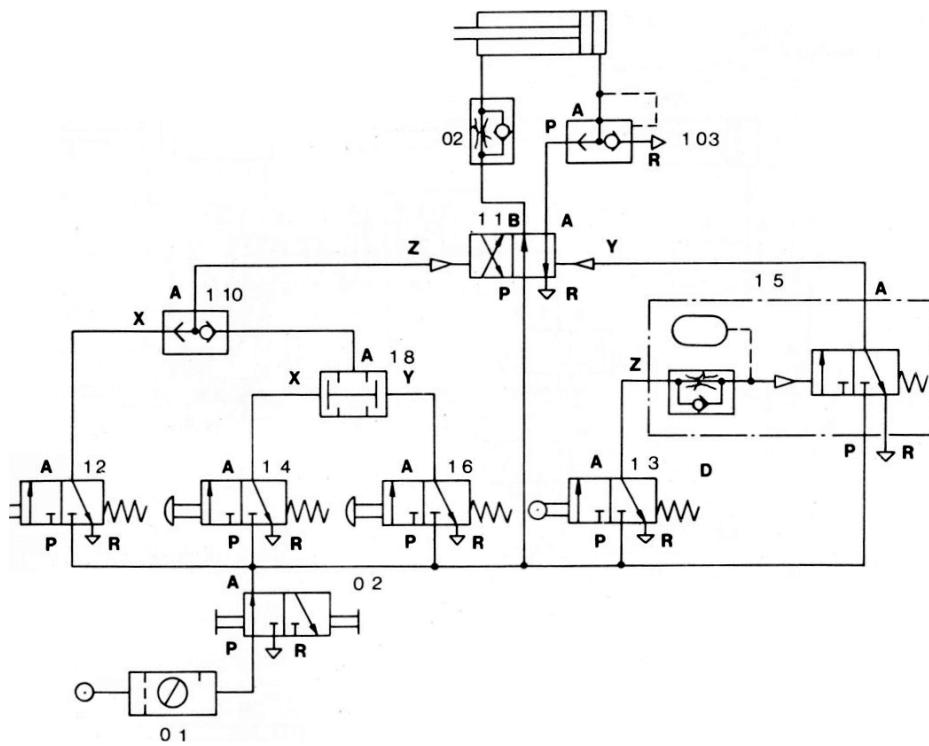


Figura 9.10: Exemplo de notação para denominação de elementos.



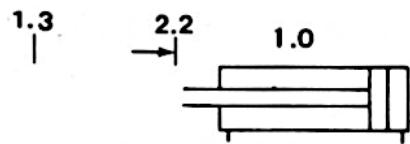
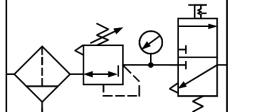
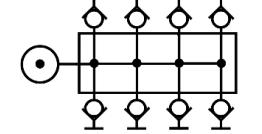
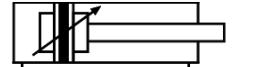
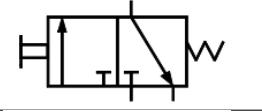
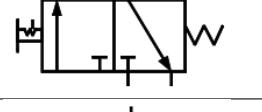


Figura 9.14: Linhas de marcação e seta em esquema de comando de cilindro.

Equipamentos LASHiP

Painel Simulador de Pneumática e Eletropneumática FESTO.

Catálogo de Componentes Pneumáticos e Elétricos:

Qtde	Equipamento	FESTO Part Number	Símbolo
1	Unidade de Conservação (Inclui filtro, regulador de pressão, manômetro e válvula de fechamento)	130 22 461	
1	Bloco Distribuidor (1 entrada engate rápido ø 6 mm; 8 saídas engate rápido ø 4mm)	130 22 750	
1	Fonte Alimentação 24V @ 10A	130 22 193	
2	Cilindros Ação Simples (retorno por mola) (ø êmbolo = 20 mm; ø haste = 8 mm; curso = 50 mm)	130 22 462	
3	Cilindros Ação Dupla (avanço e retorno pneumáticos) (ø êmbolo = 20 mm; ø haste = 8 mm; curso = 100 mm)	130 22 463	
2	Válvulas direcionais NF 3/2 (botão pulsador, retorno por mola)	130 22 464	
1	Válvula direcional NF 3/2 (botão seletor com travas, retorno por mola)	130 22 465	
1	Válvula Direcional NF 3/2 (botão cogumelo com travas, retorno por mola)	130 22 466	
4	Válvulas direcionais NF 3/2 (chave fim de curso c/ rolete mecânico, retorno por mola)	130 22 468	
1	Válvula Direcional NF 3/2 (chave fim de curso c/rolete escamoteável, retorno por mola)	130 22 469	

Continua...

Qtde	Equipamento	FESTO Part Number	Símbolo
1	Válvula de Sequência NF 3/2 (acionamento pneumático por pressão piloto direta, retorno por mola)	130 22 475	
5	Válvulas reguladoras de fluxo unidirecional (retorno livre)	130 22 480	
2	Válvulas alternadoras (elemento OU)	130 22 481	
2	Válvulas de simultaneidade (elemento E)	130 22 482	
1	Válvula de Escape Rápido (aumenta em até 30% a velocidade do cilindro)	130 22 483	
1	Válvula direcional 5/2 NF (simples piloto; retorno por mola)	130 22 477	
1	Válvula Direcional NF 5/2 [acionamento por pulso de pressão piloto direta, ambos os lados; botão acionamento manual auxiliar; comportamento de memória (bi-estável)]	130 22 478	
2	Válvulas Direcionais NF 3/2 [acionamento por pulso de pressão piloto direta, ambos os lados; botão acionamento manual auxiliar; comportamento de memória (bi-estável)]	130 22 472	
1	Eletroválvula Direcional NF 3/2 (acionamento por solenóide de 24 Vcc e piloto; retorno por mola; possibilidade de acionamento manual de emergência; LED indicador de operação)	130 22 490	
2	Eletroválvulas Direcionais NF 5/2 (acionamento por solenóide de 24 Vcc; retorno por mola; LED indicador de operação)	130 22 491	
2	Eletroválvulas Direcionais NF 5/2 (tipo memória) (acionamento por duplo servocomando, por solenóides de 24 Vcc e pilotos; possibilidade de acionamento manual de emergência; LEDs indicadores de operação) Danificadas	130 22 492	
6	Sensores Indutivos BALLUFF (BES 515-324-E0-C-PN-02/BR) (Fora de catálogo; provavelmente)		
2	Sensores ótico difuso BALLUFF (BOS 18M-PA-1PD-E4-C-05/B) (18M; ø 18 x 69mm; PNP contato NF/NA; divergente, infravermelho; d =0...400mm; 10...30 Vdc)		
1	Reed-switch (sensor magnético) E-MC (HX 31 R-2M (11EMC-BR002-463))		

Continua...

Qtde	Equipamento	FESTO Part Number	Símbolo
2	Placas de botões de comando elétrico II (Módulos com 2 botões pulsadores com 2 contatos NA/NF + 1 botão pulsador com 1 contato NA/NF)	13022 717	
4	Módulos com 3 relés auxiliares 3 x Relés (4 contatos NA/NF): K1, K2 e K3 – [1]	130 22 714	
2	Módulos de temporizadores (2 x 1 Relés Temporizadores (1 contato NA/NF): K1 e K2)	130 22 732	
2	Módulos Sinalizadores (8 x Lâmpadas + 1 indicador sonoro)	130 22 730	
2	Módulos Contadores Digitais (1 contato NA/NF; 3 dígitos programável; reposição elétrica e manual)	130 22 718	

Obs: [1] Alguns canais queimados.

Sensores de Proximidade

Os sensores de proximidade, assim como as chaves fim de curso, são elementos emissores de sinais elétricos, os quais são posicionados no decorrer do percurso de cabeçotes móveis de máquinas e equipamentos industriais, bem como das hastes de cilindros hidráulicos e/ou pneumáticos. O acionamento dos sensores, entretanto, não depende de contato físico com as partes móveis dos equipamentos, basta apenas que estas partes aproximem-se dos sensores a uma distância que varia de acordo com o tipo de sensor utilizado. Os mais empregados na automação de máquinas e equipamentos industriais são os sensores capacitivos, indutivos, ópticos, magnéticos e ultra-sônicos, além dos sensores de pressão, volume e temperatura, muito utilizados na indústria de processos. Estes sensores possuem dois cabos de alimentação elétrica, sendo um positivo e outro negativo, e um cabo de saída de sinal.

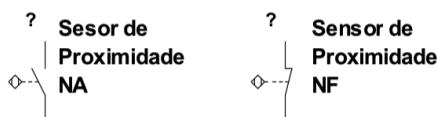


Figura 15: Simbologia genérica para sensores de proximidade.

.1 Indutivo

Características técnicas:

- Distância = 5 mm;
- Frequência máxima = 800 Hz;
- Sinal de saída = 24 Vdc PNP;
- Tensão de alimentação = 10 à 30 Vdc;
- Cabo conector com:
 - Positivo = fio vermelho;
 - Negativo (terra) = fio azul;
 - Saída PNP = fio preto;

.2 Capacitivo

Características técnicas:

- Distância = 50 mm;
- Frequência máxima = 100 Hz;
- Sinal de saída = 24 Vdc PNP;
- Tensão de alimentação = 10 à 30 Vdc;
- Cabo conector com:

- Positivo = fio vermelho;
- Negativo (terra) = fio azul;
- Saída PNP (0) = fio preto;
- Saída PNP (1) = fio verde.

.3 Ótico

Características técnicas:

- Distância = 300 mm;
- Frequência máxima = 100 Hz;
- Sinal de saída = 24 Vdc PNP;
- Tensão de alimentação = 10 à 30 Vdc;
- Cabo conector com:
 - Positivo = fio vermelho;
 - Negativo (terra) = fio azul;
 - Saída PNP = fio preto;