Governo do Estado do Ceará
Secretaria da Educação

Escola Estadual de Educação Profissional - EEEP

Ensino Médio Integrado à Educação Profissional

Curso Técnico em Mecânica

Acionamentos Hidraúlicos e Pneumáticos

GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação

Governador
Cid Ferreira Gomes

Vice Governador
Domingos Gomes de Aguiar Filho

Secretária da Educação
Maria Izolda Cela de Arruda Coelho

Secretário Adjunto
Maurício Holanda Maia

Secretário Executivo
Antônio Idilvan de Lima Alencar

Assessora Institucional do Gabinete da Seduc
Cristiane Carvalho Holanda

Coordenadora da Educação Profissional – SEDUC
Andréa Araújo Rocha

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 2
CAPÍTULO 2 - EQUIPAMENTOS BÁSICOS 7
2.1 Compressores:.....7
2.2 Bombas hidráulicas.....10
2.3 Fluidos Hidráulicos.....12
2.4 Equipamentos de tratamento do ar.....22
2.5 Atuadores:.....27
2.6 Válvulas:.....35
2.7 Acumuladores.....54
.....58
2.8 Sensores:.....58
2.9 Simbologia dos componentes eletrohidráulicos e eletropeumáticos.....59
2.10 Simbologia da linguagem LADDER.....61
CAPÍTULO 3 - CIRCUITOS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS 62
3.1 Estrutura dos circuitos.....62
3.2 Comandos básicos.....64
3.3 Estratégias para aproximação rápida / Circuitos regenerativos.....74
3.4 Circuitos com Motores.....78
3.5 Circuitos em série.....80
3.6 Servosistemas Hidráulicos.....83
3.7 Circuitos Combinacionais.....87
3.8 Circuitos sequenciais.....101
CAPÍTULO 4 - ELETROPNEUMÁTICA 134
4.1 Emprego de relés 134
4.2 Circuitos combinacionais.....135
4.3 Circuitos Seqüenciais 137
CAPÍTULO 5 - ACIONAMENTOS ATRAVÉS DE CLP'S 148
5.1 Exemplo de uso do temporizador.....150
5.2 Comando bimanual de segurança.....151
5.3 Exemplo de uso do contador incremental.....151
5.4 Programa para comando de um manipulador pneumático.....154

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

A aplicação de pneumática e hidráulica em automação tem se dado de forma concreta em função das inúmeras vantagens que ambas propiciam, com ganhos consideráveis sobre outras tecnologias. São aplicadas em diversos ramos de atividades, sobretudo na indústria, cada uma com um campo de atuação bem definido. Vejamos nos quadros abaixo algumas características técnicas e comparações com outras técnicas de acionamentos.

Técnicas	Pneumática	Hidráulica	Elétrica/eletrônica
Força	Pequena	Grande	Pequena
Torque	Pequeno	Grande	Grande
Movimento linear	Fácil obtenção, alta velocidade	Fácil obtenção, média velocidade	Obtenção complexa
Movimento rotativo	Altas rotações (50.000 rpm)	Médias rotações	Médias rotações
Regulagem força e velocidade	Ruim	Boa	Excelente
Acúmulo e transporte de energia	Possível e fácil	Possível, mas difícil	Fácil
Sensibilidade ao ambiente	Praticamente insensível	Sensível	Sensível
Custo da energia	Médio	Alto	Baixo
Riscos de manuseio	Baixo	Médio	Alto

Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos são compostos de equipamentos tais como cilindros, motores, válvulas, chaves de fim de curso, sensores, relés, sinalizadores, microcontroladores, CLP's, etc., inter-relacionados, a fim de que os atuadores (cilindros e motores) executem uma função pré–estabelecida, comandados pelos outros equipamentos descritos.

Sistemas Pneumáticos

As vantagens e limitações dos sistemas pneumáticos são decorrentes basicamente da compressibilidade e da baixa viscosidade do ar

Vantagens:

- Matéria prima abundante e de baixo custo;

- Facilidade no transporte e armazenamento de energia;
- Não poluente;
- Resistente a ambientes hostis;
- Segurança;
- Boa velocidade dos atuadores;
- Auto proteção contra sobrecargas.

Limitações:

- Economicamente inviável para pressões acima de 20 kgf/cm^2;
- Escape ruidoso;
- Pequenas forças;
- Requer tratamento inicial do ar;
- Controle de velocidade impreciso.

Sistemas Hidráulicos
Vantagens:

- Grandes pressões e forças.
- Possibilidade de variações micrométricas de velocidade.
- Autolubrificação.
- Permitem uma rápida e suave inversão dos movimentos, devido a baixa inércia.

Desvantagens:

- Alto custo.
- Baixo rendimento (atritos, transformação de energia, vazamentos internos).
- Sensível às variações de temperatura (variação da viscosidade, risco de incêndio).

Classificação dos sistemas hidráulicos de acordo com a pressão:

0 a 14 bar	0 a 203,10 psi	Baixa pressão
14 a 35 bar	203,10 a 507,76 psi	Média pressão
35 a 84 bar	507,76 a 1218,62 psi	Média-alta pressão
84 a 210 bar	1218,62 a 3046,56 psi	Alta pressão
Acima de 210 bar	Acima de 3046,56 psi	Extra–alta pressão

Exemplos de aplicações:

- Ferramentas manuais.
- Máquinas - ferramentas.
- Prensas.
- Talhas, guinchos, empilhadeiras, etc.
- Mancais aeroestáticos e hidrostáticos.
- Transmissões hidrostáticas.
- Ferramentas de estampo e corte.
- Ferramentas odontológicas.
- Equipamentos de pintura industrial.
- Equipamentos de injeção.

Possibilidades de aplicação:

- Movimentar.
- Girar.
- Transpor.
- Prender.
- Empilhar.
- Elevar.
- Abrir / Fechar.

Técnicas de acionamento:

- Pneumática / hidráulica “pura”.
- Eletropneumática / eletrohidráulica.
- Através de CLP.

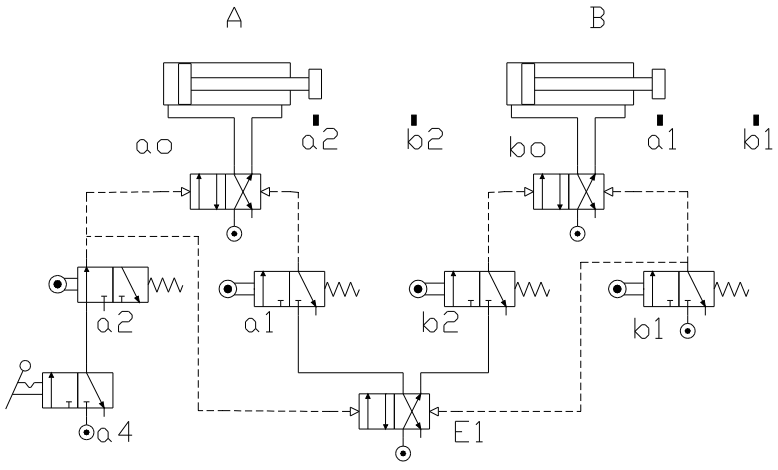
Técnica empregada x flexibilidade

Técnica empregada	Flexibilidade
PNEUMÁTICA “PURA”	BAIXA.
ELETROPNEUMÁTICA	MÉDIA
ATRAVÉS DE CLP	ALTA

-PNEUMÁTICA/HIDRÁULICA “PURA”:

São empregados apenas componentes de comando manual ou por pressão piloto, o que torna o sistema extremamente limitado mas, por outro lado, o isenta de perturbações ou falhas da rede elétrica.

Exemplo de circuito pneumático puro:



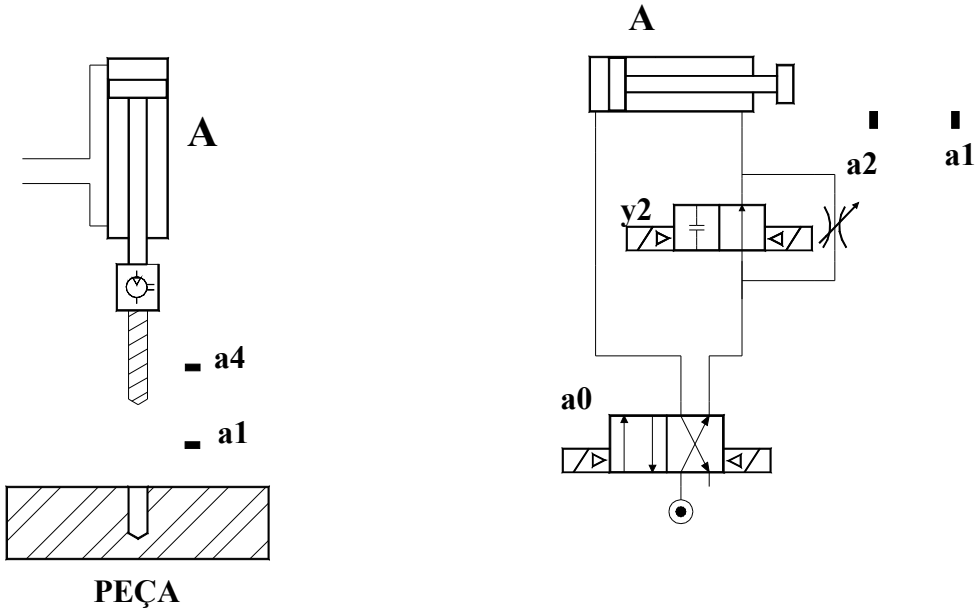
-ELETROPNEUMÁTICA/ELETROHIDRÁULICA:

São empregados componentes de comando manual, por pressão piloto e elétrico, o que dá ao sistema uma flexibilidade razoável mas, ainda de custo relativamente alto.

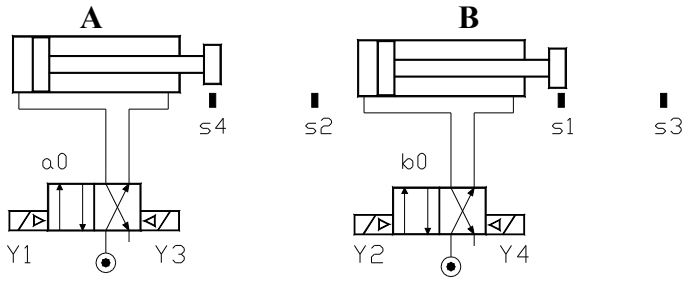
Exemplos de circuitos eletropneumáticos:

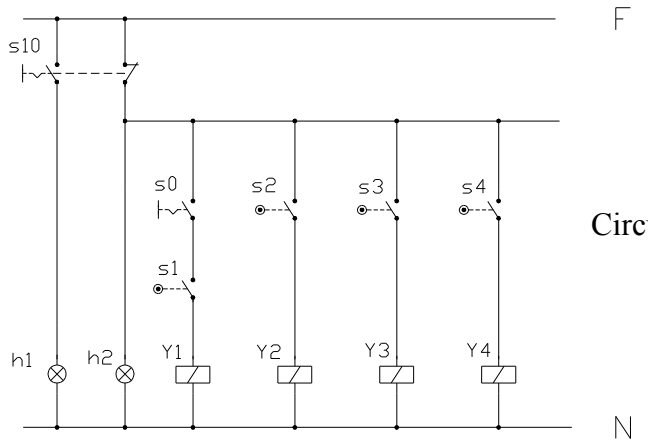
1. Controle de velocidade de uma furadeira pneumática:

ESQUEMA FÍSICO **ESQUEMA PNEUMÁTICO**



2. Circuito seqüencial - A+ B+ A - B- ...

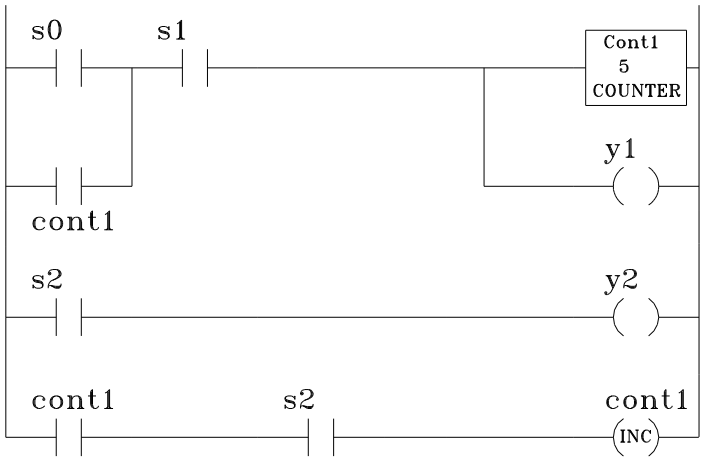


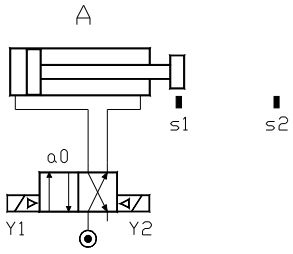


Circuito Elétrico

-ATRAVÉS DE CLP:

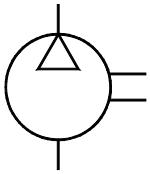
São empregados componentes de comando manual, por pressão piloto e elétrico, mas em menor número, haja vista que grande parte destes são substituídos pelo CLP que, através de software executa funções de relé, temporizador, contador, chaves, etc., o que dá ao sistema uma grande flexibilidade com um custo relativamente baixo.





Capítulo 2 - EQUIPAMENTOS BÁSICOS

2.1 Compressores:



simbologia

Classificação:

a. Quanto ao princípio de funcionamento:

-Compressores de deslocamento positivo

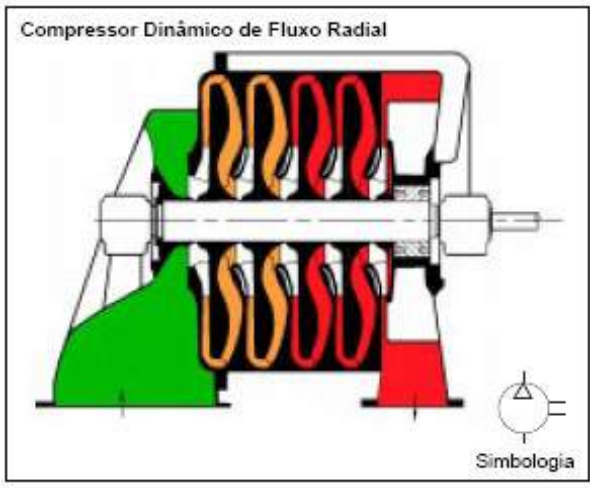
Faz a compressão através da redução do volume de ar. O fornecimento (fluxo) de ar é intermitente durante o funcionamento do compressor, já que o ar primeiramente é comprimido e só depois descarregado. Podem ser:

- **Rotativos:** de palhetas, de parafusos, de anel líquido, etc.
- **Alternativos:** de êmbolo, de diafragma, etc

-Compressores de deslocamento dinâmico

Neste tipo de compressor o ar é acelerado adquirindo assim elevada energia cinética. Posteriormente é feita a transformação da energia cinética em energia de pressão, através da utilização de um difusor (bocal divergente).

Caracterizam-se por manter um fluxo de ar constante durante o funcionamento. Por este princípio funcionam os chamados turbo compressores, tais como os de fluxo radial e os de fluxo axial.



b. Quanto ao regime de trabalho:

- Fluxo contínuo: compressores de deslocamento dinâmico.

- Fluxo intermitente: compressores de deslocamento positivo

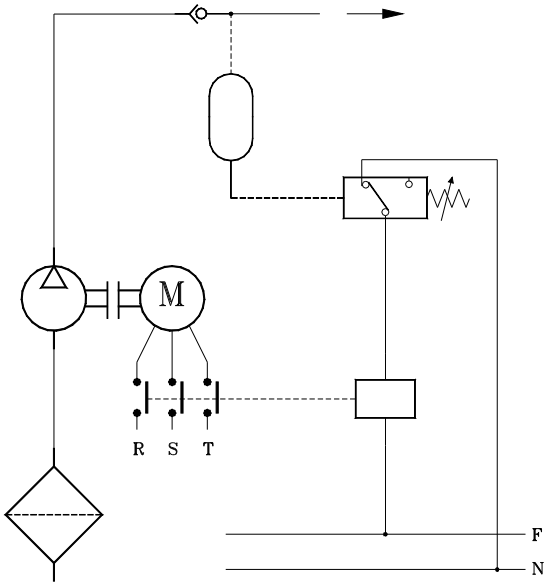
2.1.1 Regulagem de capacidade

Função: manter a pressão de trabalho do compressor dentro de uma faixa pré-estabelecida.

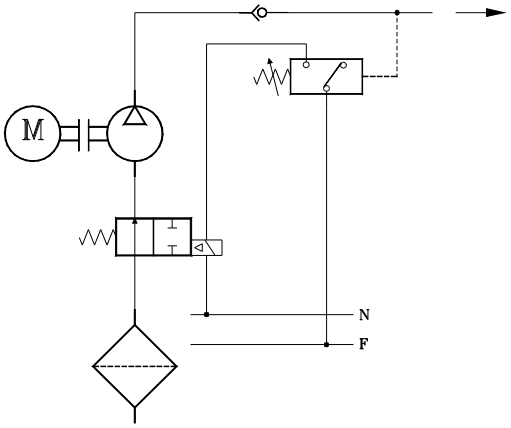
Tipos:

- Partida e parada automáticas do motor elétrico.
- Fechamento total da admissão.
- Fechamento parcial (estrangulamento) da admissão.
- Descarga para a atmosfera.
- Realimentação do ar comprimido.
- Variação do rendimento volumétrico
- Variação da rotação do motor de acionamento.
- Alívio nas válvulas de admissão.
- Métodos combinados.

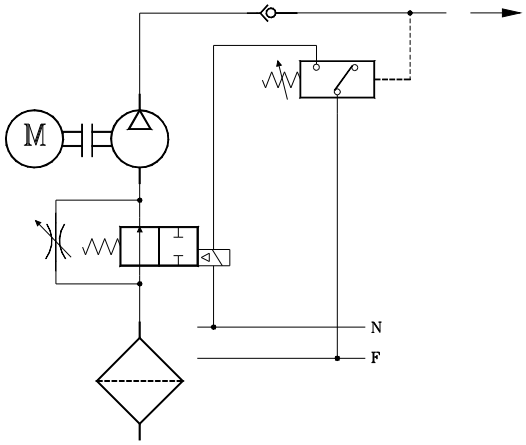
Partida e parada automáticas do motor elétrico



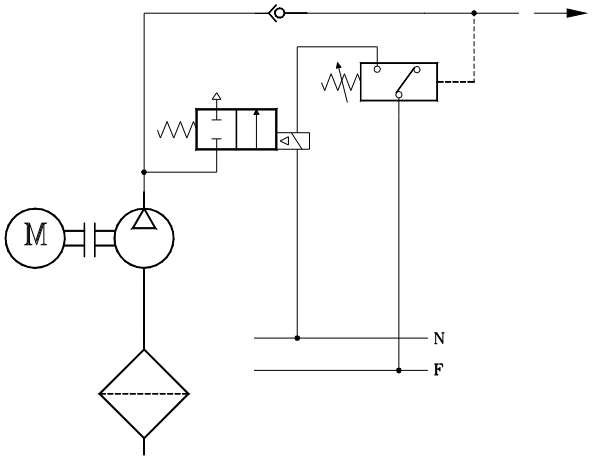
Fechamento total da admissão



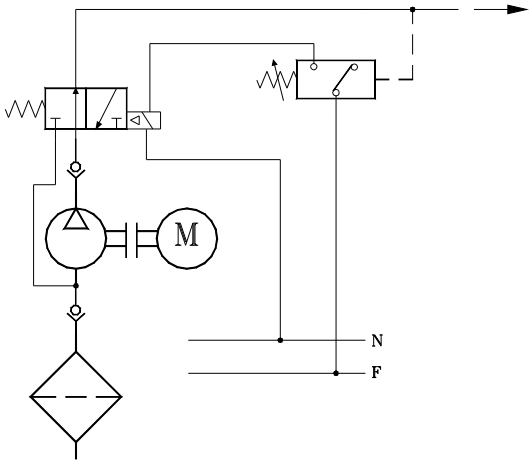
Fechamento parcial (estrangulamento) da admissão



Descarga para a atmosfera



Realimentação do ar comprimido



2.2 Bombas hidráulicas

Classificação, segundo o deslocamento:

Bombas de deslocamento constante:
Engrenagens;
Palhetas;
Parafusos;
Pistões Axiais;
Pistões Radiais;

Bombas de deslocamento variável:
Palhetas;
Pistões Axiais;
Pistões radiais;

Classificação, segundo a construção:

Bombas de rotores múltiplos:
Bomba de engrenagens externas
Bomba de engrenagens internas
Bomba de lóbulos
Bomba de parafusos

Bombas de rotor único:
Bomba de palhetas
Bomba de pistões radiais
Bomba de pistões axiais
Bomba de cavidade progressiva

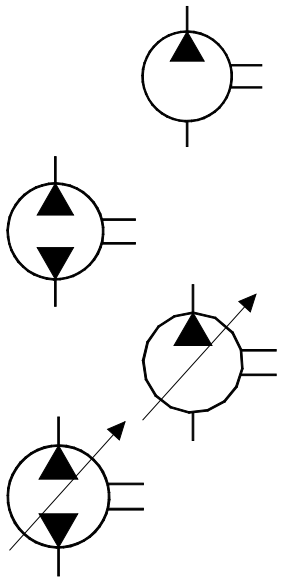
Simbologia:

deslocamento constante e com um sentido de fluxo

deslocamento constante e com duplo sentido de fluxo

deslocamento variável e com um sentido de fluxo

deslocamento variável e com duplo sentido de fluxo



Tipo de bomba	Pressão (bar)		Vazão max. (L/min)
	de	até	
Engrenagens	40	300	300
Parafusos	50	140	100
Palhetas	40	175	300
Pistões axiais	200	350	500
Pistões radiais	350	650	100
Centrífuga *	5	20	3000

* Não é empregada em circuitos oleodinâmicos, devido à baixa pressão.

2.2.1 Bombas de Deslocamento Positivo

Podem ser de vazão constante ou variável.

As bombas de deslocamento positivo podem ser: alternativas (pistões axiais) e rotativas (pistões radiais). Nas bombas alternativas o líquido recebe a ação das forças diretamente de um pistão ou êmbolo (pistão alongado) ou de uma membrana flexível (diafragma). Nas bombas rotativas, por sua vez, o líquido recebe a ação de forças provenientes de uma ou mais peças dotadas de movimento de rotação que comunicam energia de pressão provocando escoamento. Os tipos mais comuns de bombas de deslocamento positivo rotativas são a bomba de engrenagens, bomba helicoidal, de palhetas e pistão giratório.

A característica principal desta classe de bombas é que uma partícula líquida em contato com o órgão que comunica a energia tem aproximadamente a mesma trajetória que a do ponto do órgão com o qual esta tem contato.

As bombas alternativas, também chamadas bomba de êmbolo ou bombas recíprocas, fazem parte das bombas volumógenas, pois nelas, o líquido,pelas condições provocadas pelo deslocamento do pistão, enche espaços existentes no corpo da bomba (câmaras ou cilindros). Em seguida, o líquido é expulso pela ação do movimento do pistão, que exerce forças na direção do próprio movimento do líquido.

No curso da aspiração, o movimento do êmbolo (plunger) ou pistão tende a produzir o vácuo no interior da bomba, provocando o escoamento do líquido existente num reservatório graças à pressão aí reinante (geralmente a atmosfera) e que é superior à existente na câmara da bomba. É essa diferença de pressões que provoca a abertura de um válvula de aspiração e mantém fechada a de recalque.

No curso da descarga, o êmbolo exerce forças sobre o líquido, impelindo-o para o tubo de recalque, provocando a abertura da válvula de recalque e mantendo fechada a de aspiração.

Vê-se que a descarga é intermitente e que as pressões variam periodicamente em cada ciclo. Essas bombas são auto-escorvantes e podem funcionar como bombas de ar, fazendo vácuo se não houver líquido a aspirar.

As bombas de pistões radiais, oscilatórios ou rotativos de descarga variável constam de um tambor excêntrico ou rotor contendo orifícios cilíndricos onde são colocados os pistões e que gira no interior de uma caixa em torno de um pivô distribuidor fixo.

Ao girar o rotor, a força centrífuga mantém os pistões em contato com a parte cilíndrica interna da carcaça. Quando um pistão se aproxima do centro, descarrega líquido no pivô distribuidor central, e quando se afasta, forma o vácuo necessário para a aspiração.

Os canais de aspiração e recalque no pivô distribuidor são independentes, operando em sincronia com o rotor.

Alterando-se a excentricidade do rotor, consegue-se a variação de descarga desejada.

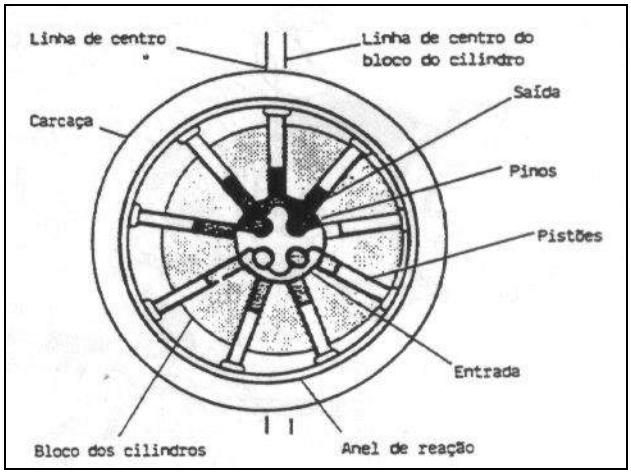
2.2.2 BOMBA DE PISTÕES

2.2.2.1 Princípio de funcionamento

Todas as bombas de pistões operam baseadas no princípio de que, se um pistão produz um movimento alternado dentro de um tubo, puxará o fluido num sentido e o expelirá no sentido contrário.

Os dois tipos básicos são o **radial** e o **axial**, sendo que ambos apresentam modelos de deslocamentos fixos ou variável. Uma bomba de tipo radial tem os pistões dispostos radialmente num conjunto, ao passo que, nas unidades de tipo axial, os pistões estão em paralelo entre si bem como ao eixo do conjunto rotativo. Existem duas versões para este último tipo: em linha com placa inclinada e angular.

2.2.3 Bomba de pistões radiais



Neste tipo de bomba, o conjunto gira em um pivô estacionário por dentro de um anel ou rotor. Conforme vai girando, a força centrífuga faz com que os pistões sigam o contorno do anel, que é excêntrico em relação ao bloco de cilindros. Quando os pistões começam o movimento alternado dentro de seus furos, os pórticos localizados no pivô permitem que os pistões puxem o fluido do pórtico de entrada quando os pistões são forçados pelo contorno do anel, em direção ao pivô.

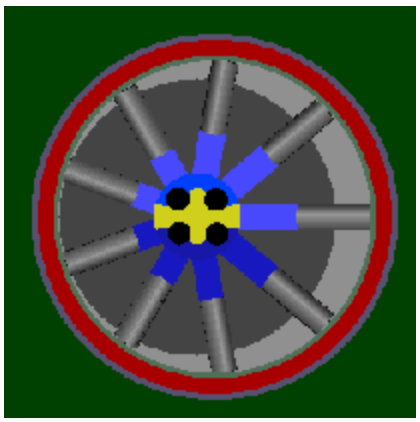
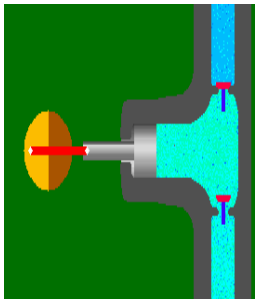


Figura 1 – Bomba de Pistões Radiais

O deslocamento de fluido depende do tamanho e do número de pistões do conjunto, bem como do curso dos mesmos. Existem modelos em que o deslocamento de fluido pode variar, modificando-se o anel para aumentar ou diminuir o curso dos pistões. Existem, ainda, controles externos para esse fim.



2.2.4 Bomba de pistões axiais

São classificadas em função do tipo de acionamento, a saber: Eixo inclinado, Disco (placa) inclinado ou Placa de balanço

2.2.5 Eixo inclinado

Um tambor de cilindro gira de encontro a uma placa entalhada que conecta os pistões aos portos de entrada e saída. Neste tipo de bomba, o bloco de cilindros é unido ao eixo através de uma ligação universal. A ação de bombeamento é a mesma de uma bomba com a placa alinhada ao eixo. O ângulo de inclinação em relação ao eixo determina a vazão desta bomba, assim como o ângulo da placa guia determina a vazão da bomba com eixo alinhado. Nas bombas de vazão fixa, o ângulo é constante.

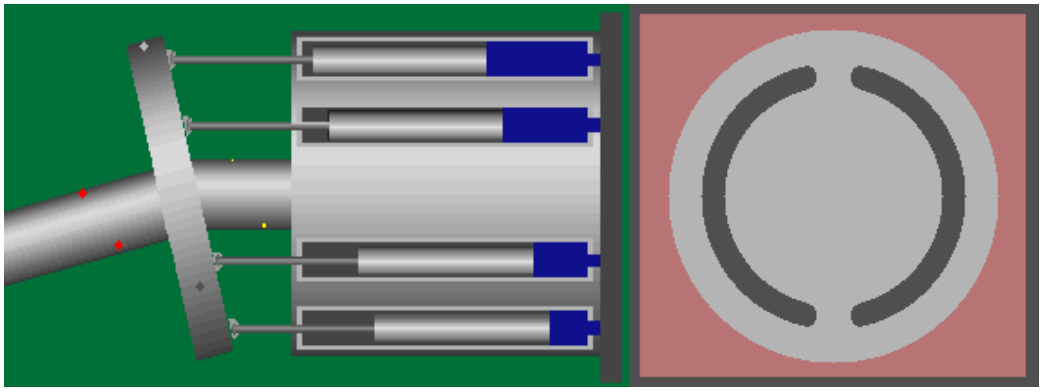


Figura 2 –Bomba de Pistões Axiais com eixo inclinado

2.2.6 Disco inclinado

Neste modelo de bomba , o eixo e o bloco de cilindros estão alinhados. O movimento alternado dos pistões é causado por uma placa guia inclinada. O eixo movimenta o bloco de cilindros, que carrega os pistões em torno do eixo. As sapatas do pistão deslizam de encontro à placa e são fixadas a ela por uma placa da sapata. A inclinação da placa faz com que os cilindros alternem em seus furos. No ponto onde um pistão começa a retrair, ocorre um aumento de volume e conseqüentemente a criação de um vácuo, succionando o líquido que passa através de um rasgo

feito no disco estacionário com um comprimento quase igual à metade de um arco. Existe uma área sólida no disco estacionário entre o entalhe de entrada e de saída, pois no momento em que o pistão se move sobre esse local, ele está inteiramente retraído. Quando o pistão começa a estender, o tambor de cilindro se move sobre o rasgo de saída do disco estacionário, e o óleo é forçado para a descarga.

Deslocamento. O deslocamento da bomba depende do furo e do curso do pistão e do número de pistões. O ângulo da placa determina o curso, que pode variar mudando o ângulo de inclinação. Na unidade de ângulo fixo, uma placa guia é estacionária na carcaça. Em uma unidade variável, é montada em um garfo, de modo que possa girar sobre pinos. Os controles diferentes podem ser unidos aos pinos para variar o fluxo da bomba de zero ao máximo. Com determinados controles, o sentido do fluxo pode ser invertido balançando um garfo após o centro. Na posição central, uma placa guia é perpendicular ao cilindro, e não há nenhum movimento do pistão, conseqüentemente nenhum óleo é bombeado.

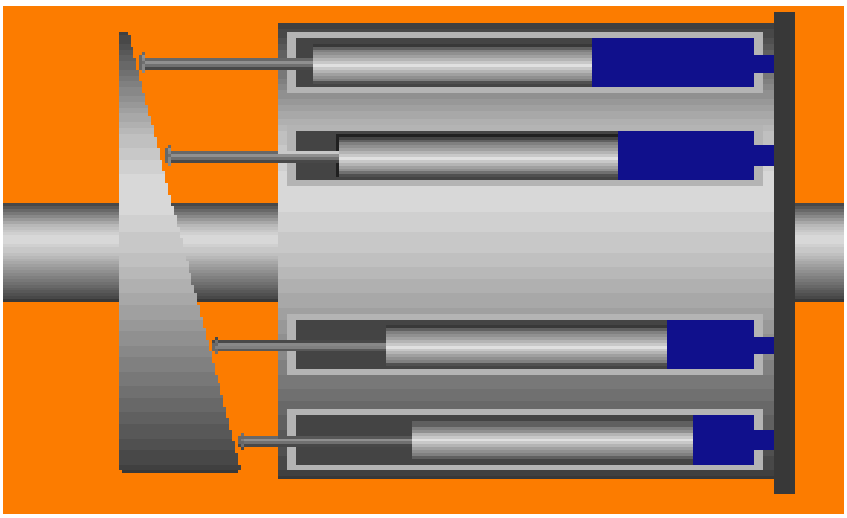


Figura 3 - Bomba de Pistões Axiais com disco inclinado

2.2.7 Placa de Balanço

Esta é uma variedade da bomba de pistão com placa inclinada. Neste projeto, um tambor de cilindro não gira; uma placa balança enquanto gira e ao balançar, empurra os pistões dentro e fora das câmaras em um tambor de cilindros estacionário.

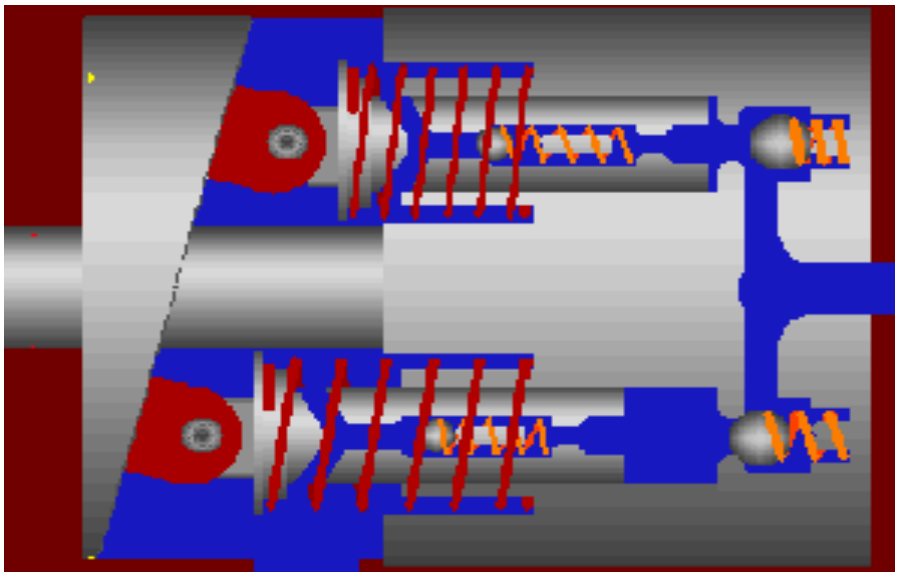


Figura 4 - Bomba de Pistões Axiais com placa de balanço

2.2.8 BOMBAS ROTATIVAS

Na classificação geral das bombas, as bombas rotativas foram incluídas entre as chamadas de “deslocamento positivo” ou “volumógenas” . Em contraposição às bombas rotodinâmicas (turbobombas), alguns autores as designam pelo nome de bombas rotoestáticas, ou de movimento rotatório. Seu funcionamento básico é o de qualquer bomba de deslocamento positivo exposto em bombas de destacamento positivo.

Existe uma grande variedade de bombas rotativas que encontram aplicação não apenas no bombeamento convencional, mas principalmente nos sistemas de lubrificação, nos comandos, controles e transmissões hidráulicas e nos sistemas automáticos com válvulas de seqüência.

Teoricamente são máquinas hidraulicamente reversíveis recebendo o liquido de outra fonte, podem comunicar movimento de rotação ao eixo, daí poderem funcionar nos circuitos que acabamos de mencionar. Recebem então o nome de motores hidráulicos.

São empregadas para líquidos de viscosidade até mesmo superior a 50.000 SSU. Os óleos de elevada viscosidade, em geral, são aquecidos para serem bombeados com menores perdas de escoamento nos encanamentos e, portanto, com menor consumo de energia.

As bombas rotativas são, via de regra, auto-aspirantes e adequadas a serviços com altura estática de aspiração relativamente elevada.

2.2.9 Bombas de um só rotor

2.2.9.1 Bombas de paletas deslizantes (sliding-vane pumps).

As de palhetas deslizantes são muito usadas para alimentação de caldeiras. São auto-aspirantes e podem ser empregadas também como bombas de vácuo. Nos comandos hidráulicos, bombeiam óleo até pressões da ordem de 175Kgf/cm2 mas em geral a pressão obtida com as bombas de palhetas varia de 7 a 20 Kgf/cm^2.

Giram com rotações entre 20 e 500 rpm, e as vazões podem variar de 3 a 20m3 /h havendo bombas com razões até maiores.

As palhetas deslocam-se no interior de ranhuras de um cilindro giratório e são trocadas com facilidades, quando gastas.

As bombas de palhetas podem ser de duas modalidades:

De descargas constantes (Fig. 1). São de uso geral e as mais comuns.

De descarga variável. Usadas em circuitos oleodinâmicos. As bombas RACINE de vazão variável fornecem, automaticamente, apenas à quantidades de óleo necessária e suficiente para operar o circuito ao qual estão inseridos. Utilizam para isso um compensador de pressão capaz de controlar a pressão máxima do sistema. O volume da bomba é modificado automaticamente para suprir a vazão exata requerida pelo sistema. Durante a variação do volume da bomba , a pressão permanece virtualmente constante, com o valor para o qual o compensador foi regulado.Dispensam-se assim válvulas de alívio, de descarga e by-pass, comumente usados para controlar os excessos de óleo.

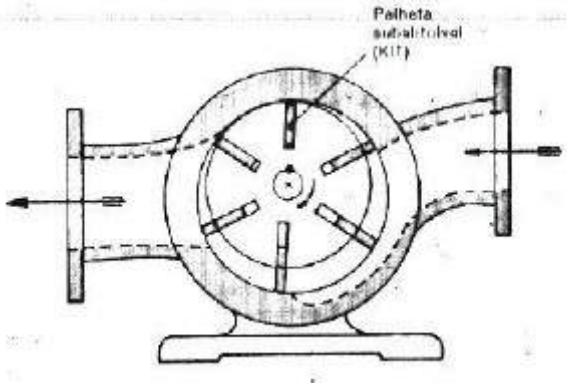


Figura 5 - Palhetas deslizantes no rotor

2.2.9.2 Bombas de palheta no estator (external vane pump)

Possuem um cilindro giratório elíptico que desloca uma palheta que é guiada por uma ranhura na carcaça da bomba. O peso próprio da palheta, auxiliado pela ação de uma mola, faz com que a palheta mantenha sempre contato com a superfície do rotor elíptico, proporcionando com o escoamento, conforme indica a Figura 6.

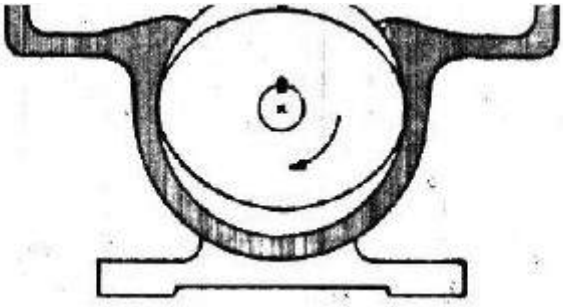


Figura 6 - Palhetas deslizantes no estator

2.2.9.3 Bombas de palhetas flexíveis (flexible vane pumps)

O rotor possui pás de borracha de grande flexibilidade, que, durante o movimento de rotação, se curvam, permitindo que entre cada duas delas seja conduzido um volume de líquido da boca de aspiração até a de recalque. Devem girar com baixa rotação, e a pressão que alcançam é reduzida (Figura 7) . Na parte superior interna da carcaça existe um crescente para evitar o retorno do líquido ao lado da aspiração.

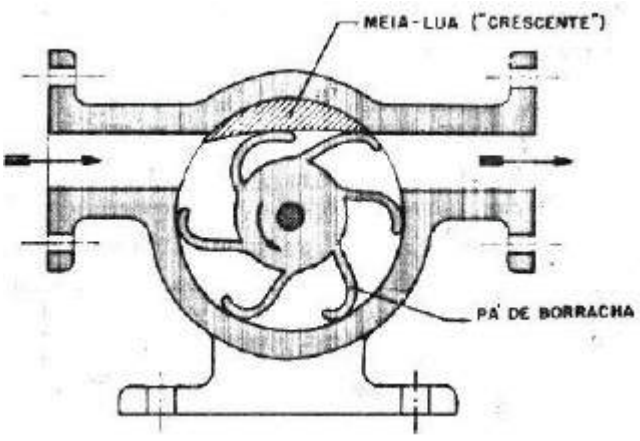


Figura 7 -Palhetas Flexíveis

2.2.9.4 Bombas de guia flexível (squeeze bumps ou flexible liner pumps)

Um excêntrico desloca uma peça tubular (“camisa”) tendo em cima uma palheta guiada por uma ranhura fixa. A Figura 8 mostra o sentido de escoamento do líquido quando o eixo gira no sentido ante-horário.

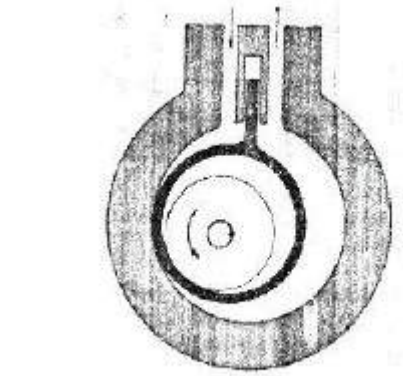


Figura 8 - Guia flexível

2.2.9.5 Bomba peristáltica

A bomba peristáltica é também conhecida como bomba de tubo flexível (flexible tube pump). No interior de uma caixa circular , uma roda excêntrica, dotada em certos casos de dois roletes diametralmente opostos ou de três roletes, comprime um tubo de borracha muito flexível e resistente. A passagem dos rolos comprimindo o tubo determina um escoamento pulsativo do líquido contido no tubo, razão do nome “peristáltica” pelo qual é mais conhecida.

Percebe-se que o líquido passa ao longo do tubo sem contato com qualquer parte da bomba. Por isso, a bomba pode ser usada para líquidos altamente corrosivos, como os ácidos acéticos, clorídricos, fosfórico, crômico, sulfúrico, nítrico, fluorídrico, etc. Usa-se no caso de banhos eletrolíticos de fosfatação e para lixívias, líquidos abrasivos, viscosos, produtos alimentícios, soluções radioativas e líquidas venenosos .

Bombas peristálticas especiais tem sido empregadas na circulação extracorpórea do sangue durante intervenções cirúrgicas do coração, funcionando como coração artificial. A bomba nesse sistema é da ordem de 1/6 CV e gira com 150 rpm, variando a velocidade de modo a poder atender as necessidades ditadas pelo momento conforme as reações do paciente.

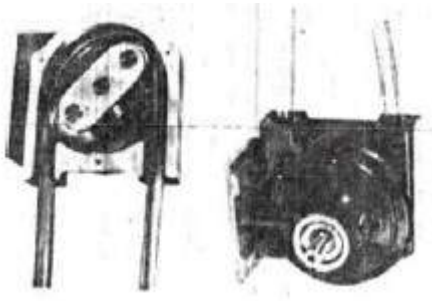


Figura 9 - Bomba de tubo flexível ou de rolete

2.2.9.6 Bomba de parafuso (single screw pump)

A bomba de parafuso único ou bomba helicoidal de câmara progressiva, concebida pelo francês Moireau, consta de um rotor que é um parafuso helicoidal que gira no interior de um estator elástico também com forma de parafuso, mas com perfil de hélice dupla. Esse tipo de bomba é apresentado na Figura 10.

A bomba de parafuso inventada por Arquimedes (287 a 212 a.C.) é uma bomba de um único helicóide executado em chapa e colocado em uma calha aberta inclinada.

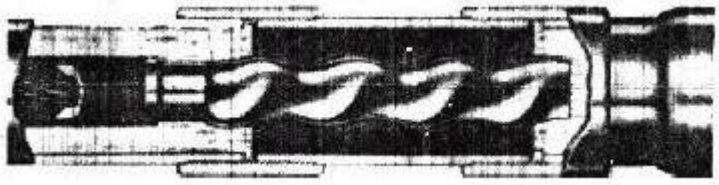


Figura 10 - Parafuso

2.2.10 Bombas de mais de um rotor

Faremos referência aos tipos mais importantes.

2.2.10.1 Bombas de engrenagens externas

Destinam-se ao bombeamento de substâncias líquidas e viscosas lubrificantes ou não, mas que não contenham particulados ou corpos sólidos granulados.

Consideremos as figuras 12 e 13. Quando as rodas giram,o líquido a bombear penetra no espaço entre cada dois dentes que se encontram do lado de aspiração e é aprisionado e conduzido até a boca de recalque da bomba. A comunicação na zona central entre o recalque e a aspiração se encontra fechada pelo contato entre os dentes que se acham engrenando.

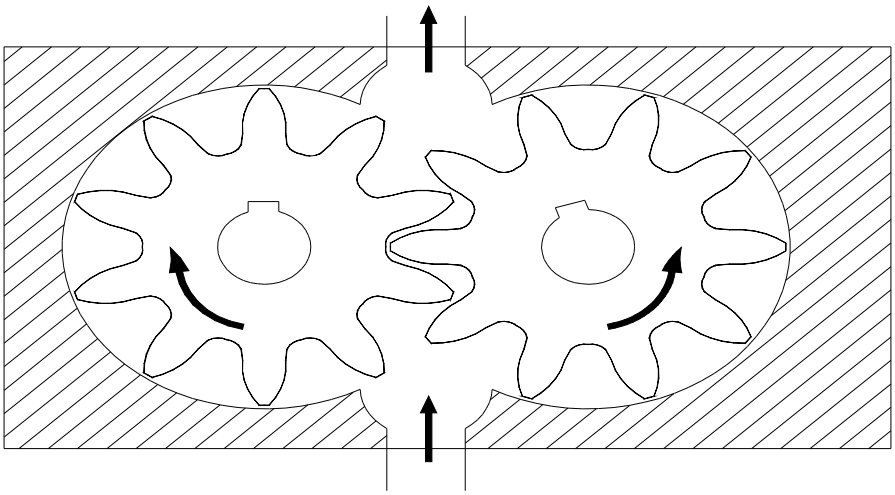


Figura 11 - Bomba de engrenagens externas (esquema simplificado)

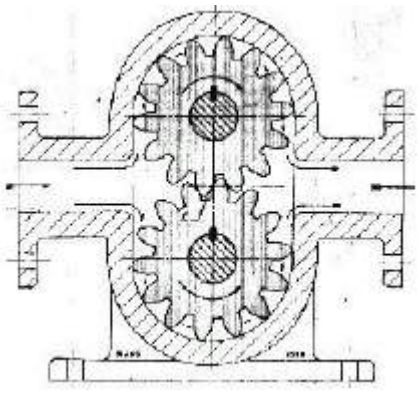


Figura 12 - - Bomba de engrenagens externas

Uma pequena quantidade de líquido retido entre a ponta de um dente e o intervalo entre dois outros, é deslocada desde o lado do recalque para o lado da aspiração. Uma outra quantidade escoa na folga existente entre a caixa e as superfícies laterais dos dentes. Finalmente, uma certa quantidade de líquido escoa em virtude de eventuais erros no cálculo do passo ou no traçado do perfil dos dentes. Como conseqüência, a descarga, as alturas de aspiração e de recalque dependem consideravelmente das condições de engreno, das folgas previstas e da pressão da usinagem.

Em bombas de pequeno porte para óleo, a transmissão do movimento de um eixo ao outro se faz pelo engreno das rodas dentadas da própria bomba, o que sacrifica sua durabilidade, embora as propriedades do óleo atenuem muito o desgaste. Em geral, porém, as rodas são chaveadas aos eixos, e estes recebem outras rodas dentadas cujo engreno faz as rodas da bomba girarem sem que seus dentes tenham contato direto. A roda dentada que transmite potência e a que recebe são colocadas numa caixa onde se processa adequada lubrificação.

Os dentes podem ser retos ou helicoidais. Quando são helicoidais, ocorre um esforço longitudinal na ação de engrenamento, paralelamente ao eixo. Pode-se anular esse esforço, que se transmite a mancais de escora, adotando-se rodas dentadas helicoidais duplas (Figura 14).

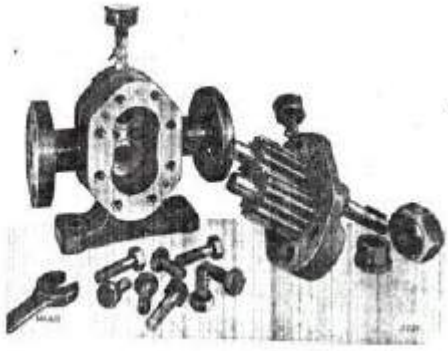


Figura 13 - Bomba de engrenagens externas (dentes retos).

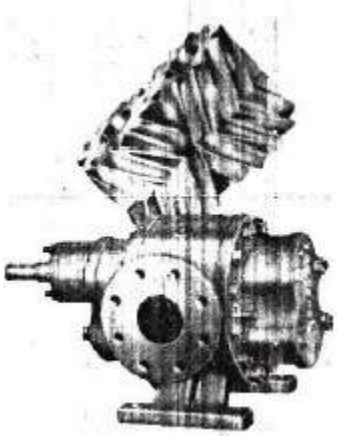
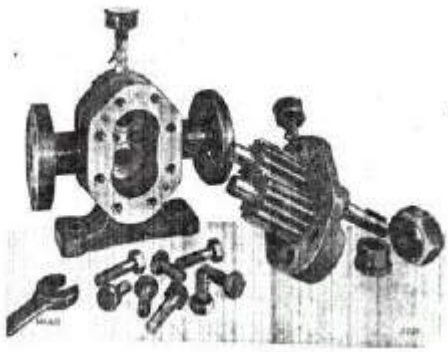


Figura 14 - Bomba de engrenagens de dentes helicoidais duplos

Para o bombeamento de líquidos que se solidificam quando não aquecidos, os fabricantes produzem modelos em que a carcaça da bomba é encamisada para poder ser aquecido o líquido com água quente ou, mais comumente, com vapor. Servem para o bombeamento de óleos minerais e vegetais, graxas, melaços, parafinas, sabões, termoplásticos etc. Fabricam-se bombas de engrenagens para pressões de 200 Kgf/cm2 e até maiores.

Vale ressaltar que as rodas dentadas helicoidais duplas (espinha de peixe – herring bone) eliminam o empuxo axial que ocorre nas helicoidais simples (spurgear).

A vazão de uma bomba de engrenagens só pode ser aumentada pelo aumento das dimensões dos dentes das engrenagens ou do número de rotações. Em geral, os dentes das engrenagens das bombas desse tipo são em número de 6 a 10. A pressão gerada à saída da bomba não costuma ser superior a 25 Kgf/cm^2, havendo contudo bombas de engrenagens de dentes retos que alcançam 210 kgf/cm^2.



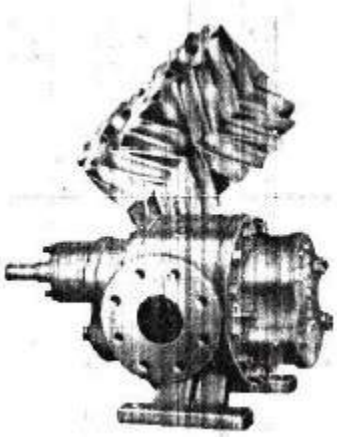


Figura 15 - Bomba de engrenagens externas (dentes retos). Figura 16 - Bomba de engrenagens de dentes helicoidais duplos

2.2.10.2 Bomba de engrenagem interna com crescente

Possui uma roda dentada exterior presa a um eixo e uma roda dentada livre interna acionada pela externa. A cada rotação do eixo da bomba, uma determinada quantidade de líquido é conduzida ao interior da bomba, enchendo os espaços entre os dentes da roda motora e da roda livre quando passam pela abertura de aspiração. O líquido é expelido dos espaços entre os dentes em direção à saída da bomba pelo engrenamento dos dentes numa posição intermediária entre a entrada e a saída. A Figura 17 mostra esse tipo de bomba, aplicável ao bombeamento de água, óleo minerais e vegetais, ácidos, álcool,tintas, benzeno, chocolate, asfalto, éter etc. São fabricadas para pressões até 280 kgf/cm^2 e vazões de 0,07 l/s até 4 l/s

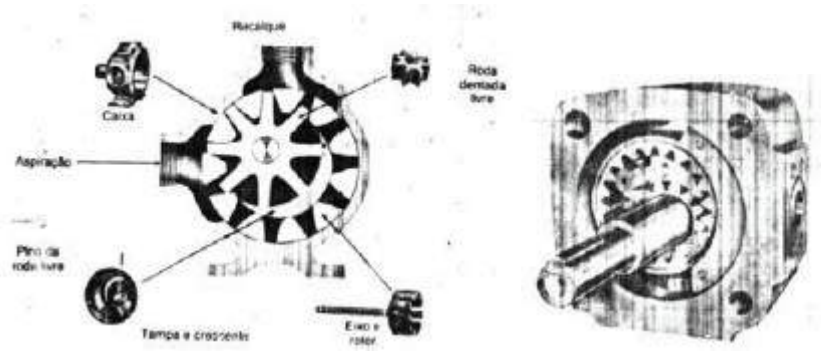


Figura 17 - Bombas de engrenagens internas com crescente

2.2.10.3 Bomba de engrenagens internas Tipo Gerotor

A bomba tipo gerotor é uma bomba de engrenagem interna com uma engrenagem motora interna e uma engrenagem movida externa. A engrenagem interna tem um dente a menos do que a engrenagem externa. Enquanto a engrenagem interna é movida por um elemento acionado, ela movimenta a engrenagem externa maior. De um lado do mecanismo de bombeamento forma-se um volume crescente, enquanto os dentes da engrenagem desengrenam. Do outro lado da bomba é formado um volume decrescente. Uma bomba tipo gerotor tem um projeto não compensado.

O fluido que entra no mecanismo de bombeamento é separado do fluido de descarga por meio de uma placa de abertura. Enquanto o fluido é impelido da entrada para a saída, uma vedação positiva é mantida, conforme os dentes da engrenagem interna seguem o contorno do topo das cristas e vales da engrenagem externa.

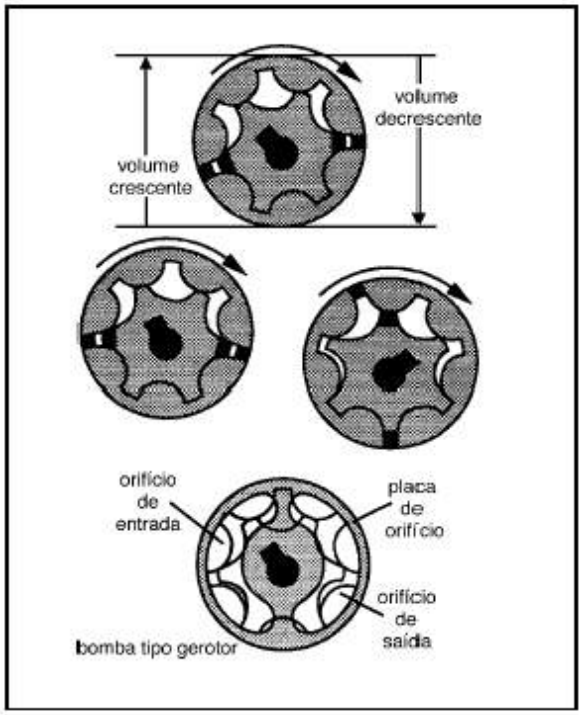


Figura 18 - Bombas de engrenagens internas tipo Gerotor.

2.2.10.4 Bombas de lóbulos

As bombas de lóbulos têm dois rotores, cada qual com dois ou três e até quatro lóbulos, conforme o tipo. O rendimento volumétrico das bombas de três lóbulos é superior ao das de dois, e por isso as primeiras são mais usadas.

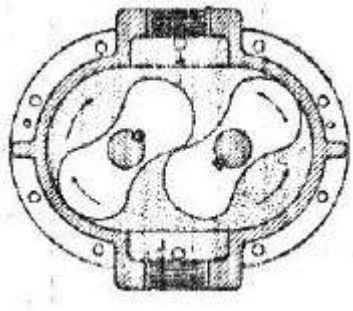


Figura 19 - Bomba de lóbulos duplos

Os compressores de ar tipo ROOTS possuem rotores de dois lóbulos semelhantes aos da bomba referida. As bombas de lóbulos são usadas no bombeamento de produtos químicos, líquidos lubrificantes ou não-lubrificantes de todas as viscosidades. . São fabricadas para pressões até 10kgf/cm^2, vazões até 360.000 l/h, e temperatura de líquidos de até 200^o C.

Existe uma bomba de lóbulos, na qual um rotor de três lóbulos se acha no interior de um rotor de quatro lóbulos.

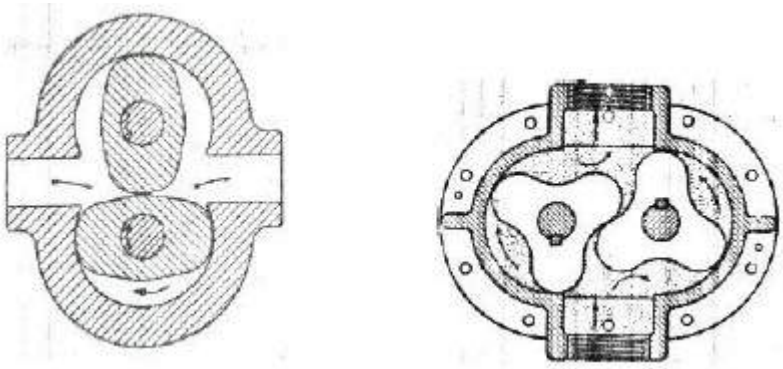


Figura 20 - Bombas de lóbulos duplos e triplos

2.2.10.5 Bombas de parafusos

As bombas de parafusos ou de helicóides (screw pumps) constam de dois ou três "parafusos" helicoidais, conforme o tipo, e equivalem teoricamente a uma bomba de pistão com curso infinito. A Figura 21 mostra uma bomba de três parafusos (three screw pump), com um parafuso condutor e dois conduzidos. As bombas de parafusos conduzem líquidos e gases sem impurezas mecânicas e conseguem alcançar pressões de até 200 kgf/cm^2. Giram com elevada rotação (até 10.000 rpm) e têm capacidade de bombear de 3 até 300 m^3/h . Os dentes não transmitem movimento para não se desgastarem. O movimento se realiza com engrenagens localizadas em caixa com óleo ou graxa para lubrificação. São silenciosas e sem pulsação.

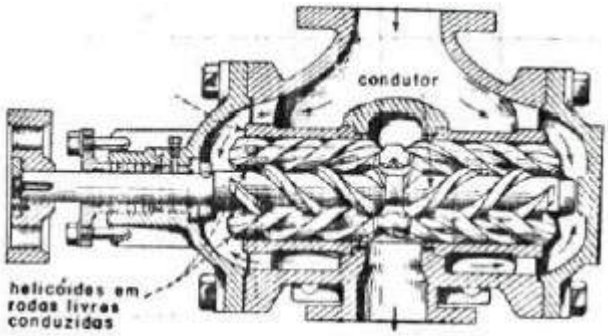


Figura 21 - Bomba de três parafusos

2.2.10.6 Bombas de fuso

Uma das modalidades de bombas de parafuso de grande número de aplicações, principalmente em indústrias, é a bomba de parafuso. O formato e o traçado dos dentes helicoidais retangulares (square therad rotors) caracterizam as bombas de fuso, embora outras bombas de parafusos com dentes de outros perfis sejam designadas por esse nome.

Graças ao perfil especial das helicóides, formam-se câmaras idealmente vedadas, cujas unidades de volume são movimentadas num fluxo contínuo através da rotação dois fusos, em direção axial, do lado da aspiração para o lado do recalque, sem esmagamento, trituração ou turbulência. A Figura 22 mostra uma bomba de dois fusos, para pressões até 20 atm.

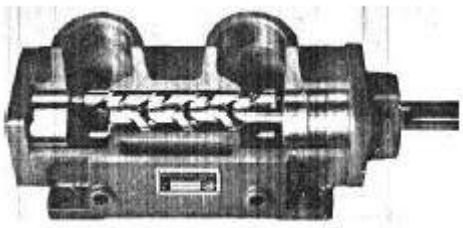


Figura 22 - Bomba de parafuso com dois fusos

Existem bombas com três fusos. Nelas, o fuso rotor central é um helicóide de passo duplo e os rotores helicoidais laterais são conduzidos pelo fuso central, ocorrendo rolamento sem escorregamento das superfícies dos helicóides em contato.

CÁLCULO DE POTÊNCIA (N) DE BOMBAS HIDRAULICAS

$N = F.V = P \,.\, A.\, V = P.Q \Rightarrow N_w = P(pa).Q(m^3/s)$

$$N_{kw} = \frac{P(bar).10^5.Q(l/\min)}{10^3.10^3.60.n} = \frac{P(bar).Q(l/\min)}{600.n}$$

$$N_{kw} = \frac{P(kgf/cm^2).0,980665.Q(l/\min)}{600.n} = \frac{P(kgf/cm^2).Q(l/\min)}{611,8.n}$$

$$N_{cv} = \frac{P(kgf/cm^2).Q(l/\min)}{0,7355x611,8.n} = \frac{P(kgf/cm^2).Q(l/\min)}{450.n}$$

$$N_{cv} = \frac{P(bar).Q(l/\min)}{0,980665x450.n} = \frac{P(bar).Q(l/\min)}{441,3.n}$$

$$N_{hp} = \frac{P(bar).Q(l/\min)}{1,01387x441,3.n} = \frac{P(bar).Q(l/\min)}{447,4.n}$$

$$N_{hp} = \frac{P(kgf/cm^2).0,980655.Q(l/\min)}{447,4.n} = \frac{P(kgf/cm^2).Q(l/\min)}{456,2xn}$$

$$N_{hp} = \frac{P(psi).Q(l/\min)}{14,223x456,2.n} = \frac{P(psi).Q(l/\min)}{6488,5xn}$$

2.3 Fluidos Hidráulicos.

São produtos destilados de petróleo, sintéticos ou a base de água.

2.3.1 Funções do óleo hidráulico:

Transmissão de pressão.
Lubrificação dos órgãos móveis.
Arrefecimento do calor gerado na transformação de energia.
Amortecimento de oscilações.
Proteção contra corrosão.
Remoção de impurezas.

2.3.2 Propriedades e características dos fluidos hidráulicos:

Viscosidade: de 15 a 100 mm^2/s.(cSt)
Densidade: em torno de 0,9kg/dm^3
Condutividade térmica: boa
Calor específico: elevado
Ponto de inflamação: 180º a 200º C
Ponto de combustão: aprox. 40º maior que o anterior
Ponto de solidificação: -10º a -15º C
Compressibilidade: redução de aprox. 0.7% do volume para 100 bar
Resistência ao envelhecimento (oxidação , polimerização, formação de espumas,etc).

2.3.3 Viscosidade

A viscosidade de um fluido qualquer é a medida da resistência que ele oferece ao escoamento. Nos óleos ela varia inversamente proporcional à temperatura. Se alta, a viscosidade pode dificultar o escoamento em válvulas, dutos e mangueiras, bem como produzir ações de retardo nos acionamentos e grandes perdas de pressão. Se baixa, pode gerar perdas por fugas e reduzir o poder lubrificante. A viscosidade aumenta quando a pressão sobe. Até aproximadamente 200 bar o aumento é moderado. Acima desse valor, a viscosidade aumenta consideravelmente. A cerca de 350 a 400 bar a viscosidade já aumenta em aproximadamente em 100%.

Índice de Viscosidade (IV): Determina o grau de independência da viscosidade em função da temperatura, ou seja, quanto maior o IV mais estável é o óleo em relação à temperatura. Assim, um óleo com alto IV tem uma pequena variação de viscosidade em relação à temperatura. A maior parte dos sistemas hidráulicos industriais requer um fluido com um índice de viscosidade de 90 ou mais. O IV indica, também, a natureza (tipo) do óleo básico empregado. Os óleos parafínicos tem, usualmente, um IV próximo ou acima de 100; os óleos semi-naftênicos tem IV por volta de 30 e os produtos naftênicos (que normalmente contém um elevado teor de aromáticos) tem IV próximo de 0.

Medidas de Viscosidade: mm^2 / s – Centstokes (cSt) a 40º C

Segundos Saybolt Universal (SSU)

Grau Engler (ºE)

2.3.4 Densidade

Depende da temperatura e pressão. Se aumentarmos a temperatura aumentaremos o volume e diminuiremos a densidade. Se aumentarmos a pressão, diminuiremos o volume e aumentaremos a densidade.

2.3.5 Condutividade térmica

É determinada para a troca de calor entre o óleo e tanque, resfriador e aparelhos de medição. A troca de calor é relativamente lenta. As temperaturas de operação não devem ultrapassar os 60ºC, as pressões devem ser baixas e os tanques grandes (aprox. 3 até 5 vezes a capacidade da bomba). Para elevadas temperaturas de operação usa-se resfriador do óleo.

2.3.6 Calor específico

Quanto mais elevado,mais calor pode ser admitido. Quantidade de calor Q, necessária para elevar em 10ºC, a temperatura de 1 Kg de material. O calor específico do óleo é de aproximadamente 0.45 até 0.5 Kcal/Kg.

2.3.7 Ponto de inflamação

Quando o óleo está com temperatura elevada e na presença de centelha ele inflama. Para óleos que trabalham em elevadas temperaturas precisam de aditivos são os chamados Fluídos resistentes ao fogo.

2.3.8 Ponto de combustão

Temperatura na qual o óleo queima espontaneamente

2.3.9 Ponto de solidificação

Temperatura na qual, sob a influência da gravidade, o óleo deixa de fluir.

2.3.10 Compressibilidade

Depende principalmente da pressão e em menor escala da temperatura. As conseqüências da compressibilidade aumentam pelo alargamento elástico de tubulações e mangueiras. Conseqüentemente, podem surgir prováveis retardamentos nas comutações, avanços irregulares em máquinas operatrizes e o efeito STICK-SLIP (Deslizamento aos trancos).

O efeito STICK-SLIP ocorre devido ao acionamento rápido de válvulas de controle direcional, pis há uma energia liberada onde podem ocorrer as batidas de descompressão que soam metálicas e duras, pois os picos de pressão chegam a ter até uma velocidade de 1000m/s. Para diminuir este efeito deve-se prolongar o tempo de acionamento através de válvulas reguladores de fluxo unidirecional (até 0.5 segundos) ou utilizando válvulas proporcionais(tempo de acionamento de até 5 segundos disponível). Para processos de contra-pressão, utilizam-se válvulas de frenagem (válvulas de pressão).

Ar dissolvido: os óleos hidráulicos contêm, em condições atmosféricas normais, aproximadamente 9% do volume de ar em forma molecularmente dissolvida, estando no estado de saturação. Em geral a quantidade de ar dissolvido no óleo depende de: pressão, temperatura, tipo de óleo, etc. O ar dissolvido não influencia nas qualidades do óleo hidráulico.

No caso de uma queda de pressão (não alcançando o limite de saturação), o óleo libera ar dissolvido aparecendo então as bolhas de ar, elas podem penetrar no sistema hidráulico através de pontos de baixa pressão (linha de sucção de bomba, nas válvulas de estrangulamentos, etc.) que simultaneamente com vazamentos permite a entrada de ar externo.

Importante:

A exaustão de um sistema hidráulico (retirada de bolhas de ar), deve ser a uma pressão tão baixa quanto possível e à temperatura de serviço (aproximadamente 50ºC). Neste caso as conexões dos cilindros devem estar em cima. A exaustão é facilitada pelos respectivos parafusos ou válvulas automáticas. A compressibilidade do óleo (com ar dissolvido) depende muito da pressão e pouco da temperatura.

O óleo comprimido sob pressão (cada 100 bar de aumento de pressão significa uma redução de 0.7% do volume), estende-se novamente depois ao alívio.

2.3.11 Resistência ao envelhecimento

2.3.11.1 Oxidação

O ar combina-se com hidrocarbonetos não saturados (com freqüência) do óleo acarretando uma reação entre o óleo e oxigênio do ar. Resulta em baixa capacidade de lubrificação na formação de ácido e na geração de partículas de carbono e aumento da viscosidade do fluido. A oxidação é favorecida por:

Alta temperatura do óleo;

Quantidade de oxigênio absorvida do ar;

Impurezas: partículas de material ou desgaste, ferrugem, tinta, catalisadores metálicos, tais como cobre, ferro ou chumbo.

2.3.11.2 Polimerização

Combinações químicas de moléculas para a formação de moléculas grandes, formação de sedimentos resinosos e partículas pegajosas. O envelhecimento do óleo pode ser evitado se não se produz mistura com ar e se as temperaturas não forem excessivas. A vida útil do óleo hidráulico, em funcionamento normal, pode atingir até 2500 horas. O óleo também envelhece quando o equipamento está fora de serviço.

2.3.11.3 Formação de espuma

É favorecida pela tensão superficial do óleo, viscosidade elevada ou sujeira em forma de partículas sólidas (desprendimento de metal de desgaste).

A causa de formação de espuma é sempre a admissão de ar em conseqüência de :

Turbulência no tanque de óleo. Tanque muito pequeno,conteúdo reduzido

A bomba espira ar. Falha de vedação na tubulação de sucção ou na bomba.

A tubulação de retorno termina acima do nível de óleo. O ar é arrastado.

Não foi executado a sangria no momento da colocação em funcionamento. As almofadas de ar soltam-se sob pressão; ao produzir-se alívio, forma-se espuma.

Conseqüências da formação de espuma:

Altera-se a capacidade de carga da película de lubrificação.

Diminui a resistência contra o envelhecimento, devido a maior oxidação.

Aumenta a compressibilidade

Prováveis sinais de cavitação na bomba.

A quase todos os óleos hidráulicos são acrescentados aditivos para melhorar o comportamento da espuma(distensão do óleo); via de regra são óleos de silicone numa concentração inferior a 0.001%

Os aditivos antiespumantes não permitem que bolhas de ar sejam recolhidas pelo óleo, o que resulta numa falha do sistema de lubrificação Estes inibidores operam combinando as pequenas bolhas de ar em bolhas grandes que se desprendem da superfície do fluido ou estouram.

2.3.12 Reservatórios Hidráulicos

Os reservatórios hidráulicos consistem de quatro paredes (geralmente de aço); uma base abaulada; um topo plano com uma placa de apoio, quatro pés; linhas de sucção, retorno e drenos; plugue do dreno; indicador de nível do óleo; tampa para respiradouro e enchimento; tampa para limpeza e placa defletora (Chicana). A função de um reservatório é conter ou armazenar o fluido hidráulico de um sistema.

2.3.13 Funcionamento

Quando o fluido retorna ao reservatório, a placa defletora impede que este fluido vá diretamente à linha de sucção. Isto cria uma zona de repouso onde as impurezas maiores sedimentam. O ar à superfície do fluido e dá condições para que o calor, no fluido, seja dissipado para as paredes do reservatório. Todas as linhas de retorno devem estar localizadas abaixo do nível do fluido e no lado do defletor oposto à linha de sucção.

2.3.14 Classificação segundo as normas:

2.3.14.1 Classificação ISO:

Analogamente a SAE, a ISO (International Standards Organization) fez uma classificação levando apenas em conta a viscosidade do óleo lubrificante, desconsiderando o seu uso. O grau ISO indica que o lubrificante indica que a viscosidade do óleo pode variar até 10% acima ou abaixo daquele valor. Como exemplo o óleo ISO VG 68, a sua viscosidade pode variar de 61,2 a 74,8 centistokes.

2.3.14.2 Classificação DIN:

A norma DIN baseia-se na qualidade do óleo mineral, de maneira que as duas se completam, ela classifica os óleos lubrificantes como a seguir:

C - óleo lubrificante para circulação

CL - Idem, com maior poder anticorrosivos

H-L - óleos hidráulicas sem aditivos antidesgaste

H-LP - Idem, com aditivos antidesgaste

ISO		ASTM
Classe de Viscosidade	Faixa de Viscosidade Cinemática a 40º (mm^2/s)	Viscosidade SSU Segundos Saybolt Universal
VG 10	9,0 a 11,0	60
VG 22	19,8 a 24,2	100
VG 32	28,8 a 35,2	150
VG 46	41,4 a 50,6	200
VG 68	61,2 a 74,8	300
VG 100	90,0 a 110,0	500

O óleo hidráulico contém, em condições normais de pressão, aproximadamente 9% do volume de ar dissolvido (saturado).

Letras de identificação:

H- óleo mineral resistente ao envelhecimento, sem aditivos.

L- aditivos contra corrosão ou envelhecimento.

P- aditivos para aumentar a capacidade de carga (pressão)

D- aditivos de detergentes ou dispersíveis.

2.3.15 Fluidos Resistentes ao Fogo

O liquido sob pressão utilizado com maior freqüência no óleo hidráulica é o óleo mineral. O problema na utilização deste óleo é a sua inflamabilidade. Portanto, nos casos de risco elevado de incêndio, utiliza-se os fluídos resistentes ao fogo, que na realidade são líquidos de pouca inflamabilidade , ou seja, apenas evitam a propagação do fogo.

Os fluídos resistentes ao fogo são empregados nos casos em que o líquido pode entrar em contato com metais muito quentes ou incandescentes, ou com fogo, quando ocorrem vazamentos ou rupturas de tubos. Como exemplo temos os casos da máquina de fundição sob pressão, prensas de forjar, equipamentos de regulagem para turbinas de usinas elétricas, instalações siderúrgicas e de laminação. As características dos fluídos resistentes ao fogo se diferem em muito aos óleos hidráulicos à base de óleos minerais. Devido a isto, devemos reduzir as características de funcionamento (velocidade , pressões) e o limite de duração.

Na utilização de fluídos resistentes ao fogo deve-se observar a compatibilidade com os vários tipos de equipamentos utilizados. Na prática, os elementos mais críticos na utilização destes fluídos são as bombas.

Uma característica inconveniente do fluido proveniente do petróleo é que ele é inflamável. Não é seguro usá-lo perto de superfícies quentes ou chama. Por esta razão, foram desenvolvidos vários tipos de fluidos resistentes ao fogo.

Classificação: HFA, HFB, HFC, HFD

HFA: emulsão em água, com no máximo 20% de óleo.

HFB: emulsão em água, com no máximo 60% de óleo.

HFC: solução de água e poliglicol.

HFD: líquidos sintéticos sem água- Éster de fosfato.- Hidrocarbonetos clorados.

2.3.15.1 Emulsão de Óleo em Água

A emulsão de óleo em água resulta em um fluido resistente ao fogo que consiste de uma mistura de óleo numa quantidade de água. A mistura pode variar em torno de 1% de óleo e 99% de água a 40% de óleo e 60% de água. A água é sempre o elemento dominante. Viscosidade muito baixa, portanto, grandes perdas por fugas. Preço bem vantajoso. Utilizada principalmente na mineração subterrânea.

2.3.15.2 Emulsão de Água em Óleo

A emulsão de água em óleo é um fluido resistente ao fogo, que é também conhecido como emulsão invertida. A mistura é geralmente de 40% de água e 60% de óleo. O óleo é dominante. Este tipo de fluido tem características de lubrificação melhores do que as emulsões de óleo em água.Aditivos corrosivos. Poder lubrificante e viscosidades semelhantes aos óleos minerais puros. Não é muito utilizado, pois nem sempre está garantida a sua inflamabilidade.

2.3.15.3 Fluido de Água –Glicol

O fluido de água –glicol resistente ao fogo é uma solução de glicol (anticongelante) e água. A mistura é geralmente de 60% de glicol e 40% de água. O teor de água e os aditivos anticorrosivos devem ser sempre controlados. A proteção contra desgaste é melhor que os fluídos HFA e HFB. Pode ser utilizado com a maioria das gaxetas padrão. Utilizado na mineração ou em máquinas de fundição sob pressão.

2.3.15.4 Sintético

Os fluidos sintéticos, resistentes ao fogo, consistem geralmente de ésteres de fosfato, hidrocarbonetos clorados, ou uma mistura dos dois com frações de petróleo. Este é o tipo mais caro de fluido resistente ao fogo. Os componentes que operam com fluidos sintéticos resistentes ao fogo necessitam de guarnições de material especial. Possuem alta resistência ao envelhecimento e boa proteção ao desgaste. Pode ser utilizado em largas faixas de temperatura de serviço. Má compatibilidade com gaxetas convencionais e pinturas a tinta. São necessárias gaxetas de ‘’viton’’. Apresenta problemas em relação ao meio ambiente, pois os hidrocarbonetos são muito venenosos.

2.3.16 Filtração

Para uma melhor compreensão da importância da filtração recomendamos ler as normas ISO 4406 e *National Aerospace Standard* (NAS) 1638.

ISO 4406: Esta norma classifica os níveis de contaminação pela quantidade de partículas maiores que 2µm, pela quantidade de partículas maiores que 5µm e pela quantidade de partículas maiores que 15µm por 100 ml. Desta forma a classificação ISO 4406 de um fluido é expressa com tres números, por exemplo 19/17/14. O primeiro número indica a classe (ou quantidade) das partículas maiores que 2µm, o segundo número a classe das partículas maiores que 5µm e o terceiro a classe das partículas maiores que 15µm . No exemplo indicado teremos:

Classe 19 de 250.000 a 500.000 partículas maiores que 2µm.

Classe 17 de 64.000 a 130.000 partículas maiores que 5µm.

Classe 14 de 8.000 a 16.000 partículas maiores que 15µm

No quadro seguinte é mostrado o nível de filtração do óleo, para cada componente, segundo a ISO 4406

Componente	Código ISO
Controle de Servo Válvula	16/14/11
Válvulas Proporcionais	17/15/12
Bomba / Motores (palhetas – pistão)	18/16/13
Válvula de Controle direcional	18/16/13
Regulador de Pressão	18/16/13
Bomba de Engrenagem	19/17/14
Cilindro	20/18/15
Controle de Fluxo	20/18/15
Óleo Novo (sem uso)	20/18/15

Nível de limpeza padrão ISO para componentes, (ISO 4406)

NAS 1638: Esta norma, por sua vez, determina o nível de contaminação pela contagem das partículas por 100 ml, em 5 faixas de tamanho de partículas, confome o quadro abaixo:

Classe de Pureza	Tamanho da Partícula (µm)				
	- 15	15 - 25	25 - 50	50 - 100	>100
	Quantidade de Partícula em 100 ml da amostra				
0	25	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1.000	178	32	6	1
3	2.000	356	63	11	2
4	4.000	712	126	22	4
5	8.000	1.425	253	45	8
6	15.000	1.850	506	90	16
7	32.000	5.700	1.012	180	32
8	64.000	11.600	2.025	360	64
9	128.000	22.800	4.050	720	128
10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
11	512.000	91.200	16.200	2.880	512
12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.024

Número de partículas e classe de pureza do fluido, segundo NAS 1638

Segundo a NAS 1638, é necessário para o fluido de serviço a classe de pureza 9. Para assegurar uma elevada vida útil é recomendado a classe de pureza 8, ainda segundo a citada norma.

Deve-se levar em conta também às indicações e as correspondentes folhas de dados dos distintos componentes hidráulicos. Em caso de equipamento com partes delicadas (como por exemplo, servoválvulas) se deve adaptar a precisão de filtração na parte mais delicada. Os óleos novos freqüentemente não satisfazem as condições de abastecimento destes requisitos de pureza. Ao repor óleo se requer por isso uma cuidadosa filtração. Pode-se tomar conhecimento da classe NAS dos óleos em condições de abastecimento através do fornecedor dos mesmos. Os óleos empregados devem apresentar uma boa filtração não somente quando são novos destinados também durante toda sua vida útil. Presenciam-se significativas diferenças em função dos aditivos empregados. Deve-se impedir o serviço do equipamento com um filtro obstruído mediante uma proteção elétrica. A manutenção da classe de pureza exigida requer uma cuidadosa filtração na ventilação do tanque. Em ambientes úmidos se requer o emprego de sílica-gel.

2.3.17 Misturas de diferentes óleos hidráulicos

Ao se mesclar óleos de distintos fabricantes ou distintos tipos do mesmo fabricante, se podem apresentar formações de lodos ou sedimentações. Isto provoca em determinadas circunstâncias, avarias e danos em um sistema hidráulico. Por este motivo não se tem nenhuma garantia ao se utilizar óleos misturados. Em geral se observa que óleos da mesma norma nem sempre são compatíveis entre si. Deve-se esclarecer por isso, que em caso de avarias devido à mistura de óleos de distintos fabricantes que o agregado de aditivos, não se pode em geral determinar responsabilidades.

2.3.18 Riscos dos fluidos hidráulicos

Os efeitos da exposição a qualquer substância tóxica dependem da dose, da duração, da maneira como se está exposto, seus hábitos e características pessoais e da presença de outras sustâncias químicas. A exposição a fluidos hidráulicos ocorre principalmente no trabalho. Beber certos tipos de fluidos hidráulicos podem causar a morte em seres humanos, e ingerir ou respirar certos tipos de fluidos hidráulicos provocarão dano ao sistema nervoso em animais. O contato com certos tipos de fluidos hidráulicos pode irritar a pele ou aos olhos.

2.3.19 Fluidos hidráulicos e o meio-ambiente.

Os fluidos hidráulicos podem entrar em contato com o meio-ambiente por derrames, escapes de máquinas. Ao ser derramado no solo, algum dos componentes dos fluidos hidráulicos

permaneceram na superfície enquanto que outros se infiltram na bacia de água subterrânea. Na água, alguns dos componentes dos fluidos hidráulicos passarão profundamente e podem permanecer ali por mais de um ano. Certas sustâncias químicas dos fluidos hidráulicos podem degradar-se no ar, no solo, na água, mas não se sabe qual é a quantidade que se degrada. Peixes que habitam águas contaminadas podem conter certos fluidos hidráulicos.

2.3.20 Exposição e cuidados com a saúde.

Podemos nos expor à ação dos fluidos hidráulicos através do contato ou da ingestão, ou ainda respirando fluidos hidráulicos no ar em torno de máquinas que usam fluidos hidráulicos. Outra forma é através do contato com água ou terrenos contaminados por resíduos perigosos ou em plantas de manufatura industrial que usam ou fabricam fluidos hidráulicos.

Pouco se sabe acerca de como a saúde pode ser afetada pelos fluidos hidráulicos. Devido aos fluidos hidráulicos serem efetivamente misturas de sustâncias químicas, alguns dos efeitos observados podem ser causados por aditivos. Os efeitos de respirar ar com altos níveis de fluidos hidráulicos em seres humanos não são conhecidos. A ingestão de grandes quantidades de certos fluidos hidráulicos podem produzir pneumonia, hemorragia intestinal ou a morte. Em um trabalhador que tem contato com uma grande quantidade de fluidos hidráulicos se observa debilidade das mãos. Em coelhos que ingerem níveis muito altos de um tipo de fluido hidráulico se observam problemas para respirar, congestão pulmonar e adormecimento. Em contato com os olhos, se observa vermelhidão e inchaço. Não se sabe se os fluidos hidráulicos podem produzir defeitos de nascimento ou se afetam a reprodução.

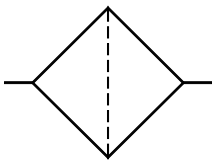
2.4 Equipamentos de tratamento do ar

O ar atmosférico, matéria-prima para a produção de ar comprimido, apesar de barato e abundante, requer tratamento antes, durante e após a compressão, haja vista a necessidade de remoção das impurezas contidas, tais como poeira e umidade, bem como pelas transformações sofridas durante o processo, principalmente o aumento de temperatura. Por isso o ar é submetido à filtração, resfriamento, secagem e, em muitos processos industriais, lubrificação, para facilitar o deslocamento de órgãos móveis dos componentes através dos quais passa, bem como a sua manutenção.

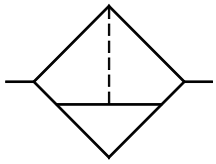
FILTROS:

Os filtros têm como função reter partículas sólidas, água condensada e também óleo, já que muitos compressores utilizam óleo misturado ao ar durante a compressão como forma de minimizar as perdas atrito. A granulometria do elemento filtrante é função da sua aplicação, variando desde 50

micros, para cilindros e ferramentas pneumáticas em geral, até aproximadamente 5 micros, para filtros removedores de óleo. Por ocasião da filtração, parte do vapor d'água é condensado, o que requer a instalação de drenos, manuais ou automáticos.



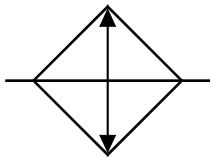
sem dreno



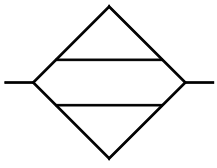
com dreno manual

RESFRIADOR:

Como o processo de compressão é politrópico, o ar é aquecido ao passar de um estado de baixa para um estado de alta pressão, chegando a atingir temperatura de 250º C, o que torna obrigatório o resfriamento, sob pena de comprometer a função do óleo lubrificante, com conseqüências danosas para os órgãos moveis do compressor, como também de reduzir o rendimento volumétrico do reservatório de ar comprimido. Para tanto são empregados resfriadores a água ou a ar, instalados entre os estágios do compressor (resfriadores intermediários) e entre o último estágio e o reservatório (resfriador posterior), aproximando assim a curva de compressão de uma isotérmica. Visto que essa mudança de estado provoca a condensação de parte do vapor d'agua contido no ar, os resfriadores, assim como os filtros, são também dotados de drenos (também chamados purgadores).



SECADOR:



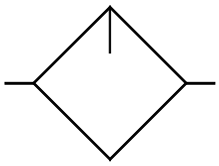
Mesmo havendo a drenagem de parte do vapor d'agua, por ocasião da filtração e do resfriamento, na maioria das vezes é necessário um processo específico – a secagem - para a desumidificação necessária do ar comprimido. A secagem pode ser feita por refrigeração, quando o ar a ser secado é resfriado, fazendo com que o vapor d'agua seja condensado, ou baseada em processos de absorção ou de adsorção, quando o ar é posto em contato com pastilhas (de cloreto de cálcio, cloreto de lítio, oxido de silício ou alumina) que fazem a remoção da umidade.

DRENOS:

Empregados em todos os equipamentos em que se possa fazer a retirada de condensado, tais como resfriadores, secadores, filtros e reservatórios, ou em trechos longos da tubulação. Podem ser de atuação manual ou automática.

manual **automático**

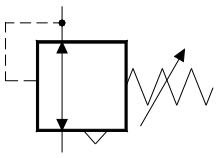
LUBRIFICADOR:



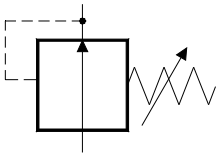
O ar desumidificado, ao se deslocar no interior de válvulas e cilindros, tende a remover a umidade neles contida, dificultando assim a movimentação destes componentes, o que torna necessário a sua lubrificação. Os lubrificadores são componentes específicos de alguns equipamentos pneumáticos e não da rede de ar como um todo, haja vista que em aplicações com fins medicinais ou de manipulação de produtos alimentícios a lubrificação não pode ser empregada pelos riscos que causa à saúde.

– **REGULADORAS DE PRESSÃO:**

Embora não sendo um equipamento de tratamento, vale salientar aqui a necessidade de uso de válvulas reguladores de pressão antes de cada equipamento consumidor de ar comprimido, como forma de adequar a pressão de alimentação as suas especificações.

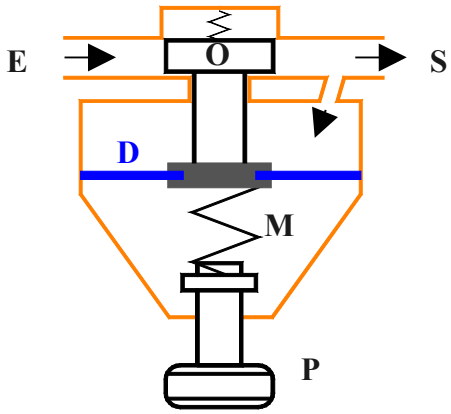


com escape



sem escape

Uma válvula reguladora de pressão tem como função manter constante a pressão de trabalho, independente do consumo de ar e da pressão da rede (*). A maioria dos reguladores tem como princípio de funcionamento um diafragma (D) pressurizado por um lado pelo ar da saída (S) e pelo outro por uma mola (M) ajustada pelo parafuso (P). Preso ao diafragma está o obturador (P) inicialmente fechando a passagem do ar.



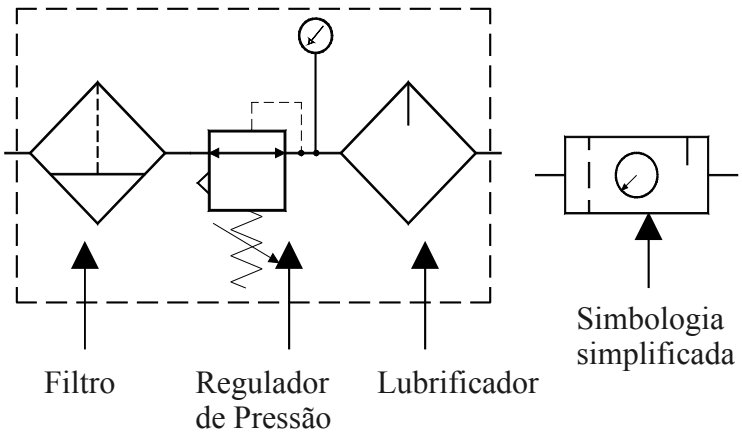
Quando a mola é comprimida pelo parafuso, o diafragma sobe, deslocando o obturador e permitindo a passagem do ar na pressão justada. Se o consumo diminuir, a pressão de saída tende a aumentar, o que aumenta a força sobre o

diafragma, deslocando-o para baixo e diminuindo assim a área de passagem no obturador, estabilizando a pressão. Quando o consumo aumenta, ocorre o oposto. Em resumo, o regulador mantém a pressão de saída constante, adequando a vazão do obturador ao consumo.

(*) Desde que as flutuações da pressão da rede não sejam inferiores à pressão ajustada na válvula.

– **UNIDADE DE PREPARAÇÃO:**

Composta geralmente de filtro, regulador de pressão e lubrificador. Tem a função de adequar as condições do ar comprimido às exigências do usuário (grau de filtração, pressão e lubrificação, quando permitido). É também conhecida como lubrefil, em referência aos equipamentos que a compõem.



EXERCICIOS

01. Cite 04 vantagens do ar atmosférico.
02. Cite 04 vantagens e 02 desvantagens do uso do ar comprimido.
03. O que diz o princípio de Pascal? Exemplifique.
04. Conceitue dando exemplos: a. pressão atmosférica. b. pressão relativa.
    c. pressão absoluta.
05. Como varia a pressão atmosférica em função da altitude?
06. Cite os principais processos de compressão do ar e diga qual o ideal.
07. Como se classificam os compressores segundo o fluxo de ar?
08. Como se classificam os compressores segundo o princípio de trabalho?
09. Em relação ao item anterior, diga o princípio de funcionamento de cada grupo.
10. Cite uma vantagem dos compres. rotativos sobre os compressores. de êmbolo.
11. Como se subdividem os compressores de deslocamento positivo?
12. Cite uma característica "marcante" dos compressores abaixo:

- Fluxo radial
- Fluxo axial
- Pistão
- Anel líquido
- Diafragma hidráulico.

13. Diferencie: - simples e duplo efeito
    - um estágio e dois (ou mais) estágios.
14. Cite três funções de um resfriador intermediário.
15. Como podem ser os resfriadores?
16. O que se pretende, quando se aumenta o número de estágios em um compressor de êmbolo?
17. Cite três dos processos de secagem do ar comprimido.
18. Dê a simbologia dos elementos seguintes: compressor, secador, lubrificador, regulador de pressão e resfriador intermediário.

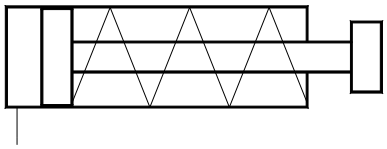
2.5 Atuadores:

São os equipamentos que efetivamente realizam trabalho, através da transformação da energia de pressão em energia mecânica, notadamente, cilindros e motores. .

2.5.1 Cilindros:

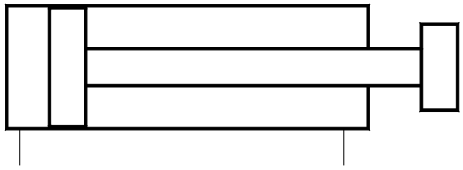
São os responsáveis pela transformação da energia de pressão em energia mecânica de translação e podem ser, basicamente dos seguintes tipos:

- **SIMPLES EFEITO.**



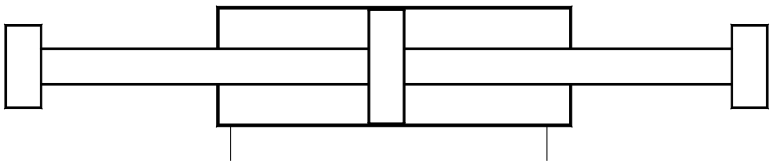
O fluido executa apenas um dos movimentos, enquanto o outro se dá, geralmente, através de uma mola. São comandados através de válvulas de controle direcional de 3 vias.

- **DUPLO EFEITO.**



O fluido executa agora tanto o movimento de avanço como o de recuo do cilindro . São comandados através de válvulas de controle direcional de 4 ou 5 vias.

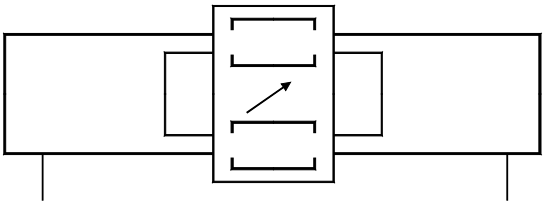
- **HASTE DUPLA.**



Tem como vantagens o fato de podermos utilizar as duas extremidades da haste na execução de trabalhos, permitindo assim o uso de todo o curso do embolo, visto que a haste é melhor apoiada,

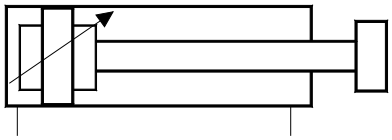
como também de ter iguais forças de avanço e recuo. São também comandados através de válvulas de controle direcional de 4 ou 5 vias.

- **SEM HASTE.**



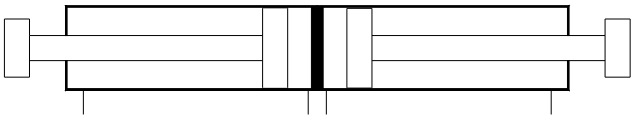
É composto de um cilindro (geralmente de alumínio), uma luva de material ferroso envolvendo este e de um embolo, no qual uma fita magnética é fortemente presa, fazendo com que a luva, por ação magnética, acompanhe os movimentos do embolo. Tem como vantagem o fato de podermos utilizar cilindros com cursos de até 6.000 mm, com uma flexão mínima, visto que a luva, que executa o trabalho, é apoiada sobre o cilindro. Tem como limitação a força da ação magnética sobre a luva, da ordem de 400 N.

- **COM AMORTECIMENTO VARIÁVEL.**



Neste tipo de atuador podemos reduzir o choque entre o embolo e as tampas do cilindro através de amortecedores pneumáticos devidamente instalados nas câmaras dianteira e/ou traseira, reduzindo assim o ruído e, principalmente aumentando a vida útil do cilindro.

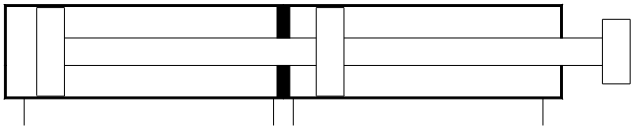
- **DUPLEX GEMINADO.**



Este tipo de cilindro tem como principal vantagem o fato de dispormos de dois cilindros opostos em uma mesma camisa, possibilitando assim que a ponta de uma das hastes possa alcançar diversas posições, bastando para isto que se mantenha presa a outra haste.

- **DUPLEX CONTÍNUO.**

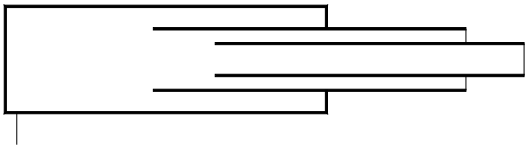
Este tipo de cilindro tem como principal vantagem o fato de dispormos de dois cilindros em série, em uma mesma camisa, possibilitando assim uma maior força útil, sem aumento do diâmetro do cilindro.



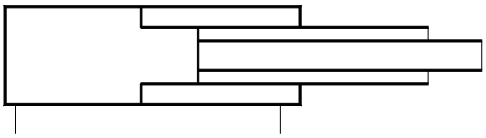
✍ TELESCÓPICO.

Este tipo de cilindro é empregado quando se faz necessário um grande curso, como por exemplo em pequenos elevadores, empilhadeiras ou máquinas de terraplenagem de carga, sendo usado preferencialmente na posição vertical. Podem ser de simples ou duplo efeito.

Simples efeito

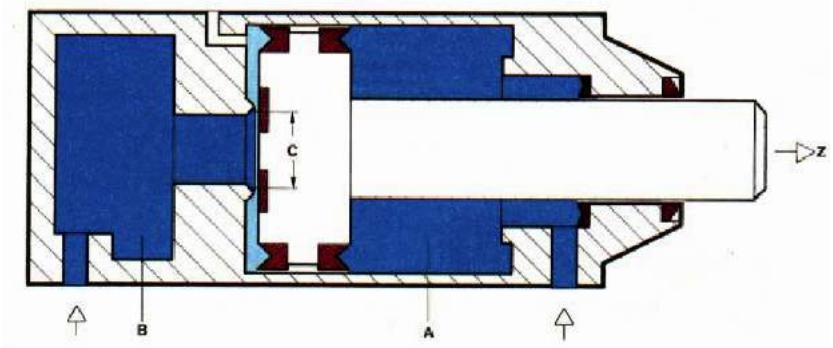


Duplo efeito



✍ CILINDRO DE IMPACTO

Cilindro pneumático utilizado em pequenas prensas. Para se obter grande energia cinética, as duas câmaras são pressurizadas ao mesmo tempo, o que impede o avanço devido a diferença entre as áreas. Quando a câmara dianteira é despressurizada o êmbolo avança fazendo com que a área de atuação do ar seja a do cilindro. Com o rápido aumento da área traseira, o êmbolo é arremessado com grande velocidade (cerca de 8 m/s), o que se traduz em um forte impacto que objetiva cortar, dobrar, rebitar ou outra operação típica de uma prensa de impacto.

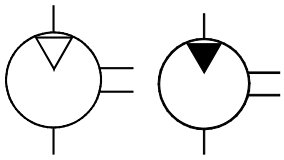


Simbologia

2.5.2 Motores:

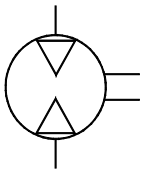
São os responsáveis pela transformação da energia de pressão em energia mecânica de rotação. Utilizados principalmente como acionadores de ferramentas manuais, tem também larga aplicação na indústria, principalmente em ambientes com vapores de gases inflamáveis, como também pelo baixo consumo de energia e velocidade variável. Podem ser:

com um sentido de rotação
fluxo fixo

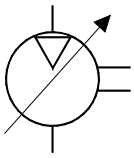


Pneum. Hidr.

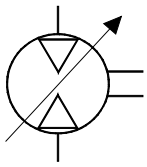
com dois sentidos de rotação
fluxo fixo



com um sentido de rotação
fluxo variável



com dois sentidos de rotação
fluxo variável



São classificados, conforme a construção, nos seguintes tipos:

- **TURBINA.**
- **PALHETAS.**
- **ENGRENAGENS.**
- **PISTÕES RADIAIS.**
- **PISTÕES AXIAIS.**

2.5.3 Consumo de ar

O consumo de ar (**Q**) de um cilindro de simples efeito é dado por

$$Q = \frac{A \times L \times Nc \times Rc}{1000},$$

Sendo **Q** – consumo de ar em litros/min; **A** – área do cilindro em cm^2;

L – curso do pistão em cm; **Nc** – número de ciclos/min

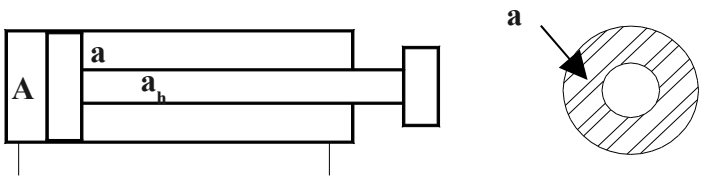
Rc – razão de compressão **Rc** = $\frac{Pt + Patm}{Patm}$;

Pt – pressão de trabalho **Patm** – pressão atmosférica

Para cilindros de duplo efeito o consumo é calculado levando–se em consideração o avanço e o retorno. Para um cilindro de duplo efeito, com haste simples, o consumo é dado por

Q = (A + a) x **L** x **Nc** x **Rc** , sendo **a** a área útil do lado da haste, com **a = A – a_h**

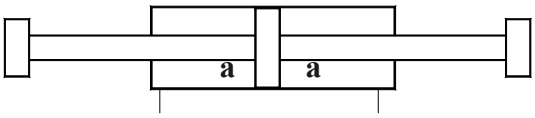
1000



Para um cilindro de haste dupla o consumo é dado por

Q = (2 x **a)** x **L** x **Nc** x **Rc** , sendo **a** a área útil em ambos os lados, com **a = A – a_h**

1000



2.5.4 Cálculo de forças

A força útil (**Fu**) de um cilindro de simples efeito (retorno por mola) é dado por

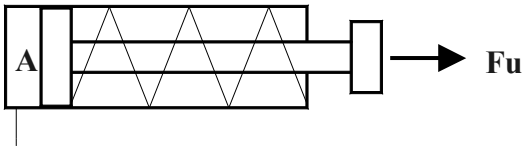
Fu = (P x **A) – Fr**, com **Fr = Fm + Fat**, onde **Fr** – força resistente em kgf/cm²;

Fu – força útil em kgf; **Fm** – força da mola em kgf;

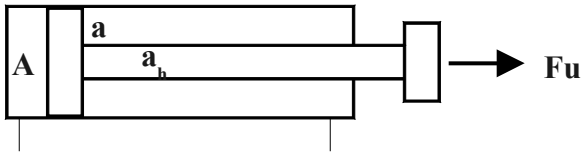
P – pressão de trabalho em kgf/cm²;

Fat – força de atrito em kgf;

A = área do cilindro em cm²;



Com cilindros de duplo efeito de haste simples, como as áreas **A** e **a** são diferentes, calculamos as forças desenvolvidas no avanço e no retorno.

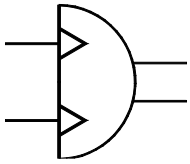


Para o avanço a força útil (**Fu_A**) é dada por **Fu_A = P** x **A – Fat**

Para o retorno a força útil (**Fu_R**) é dada por **Fu_R = P** x **a – Fat**

2.5.5 Atuadores rotativos

São motores com giro limitado e intermitente.

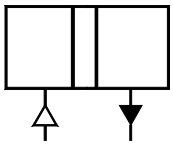


2.5.6 Conversores hidropneumáticos

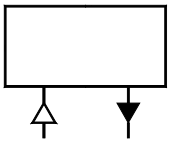
São equipamentos que convertem energia (pressão) de sistemas pneumáticos para hidráulicos e empregados sobretudo quando é requerida uma velocidade de avanço ou retorno uniforme, conseguida através do controle de fluxo do óleo. Podem ser com e sem aumento de pressão.

Conversores sem aumento de pressão.

São empregados como fonte de pressão para pequenos sistemas hidráulicos, porém com a mesma pressão do sistema pneumático.



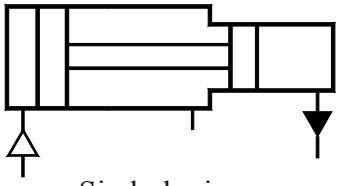
Conversor ar–óleo com êmbolo



Conversor ar–óleo sem êmbolo

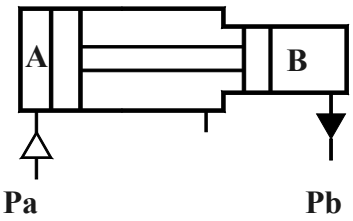
Conversores com aumento de pressão (Intensificadores de pressão)

São empregados como fonte de pressão para pequenos sistemas hidráulicos que necessitam de pressões maiores que a do sistema pneumático

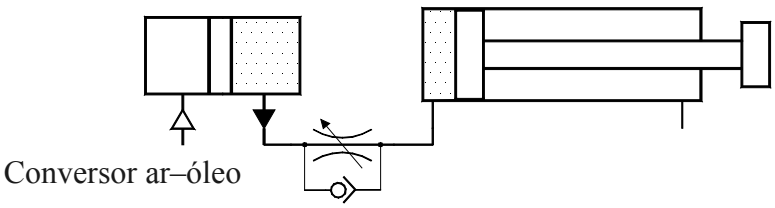


Simbologia

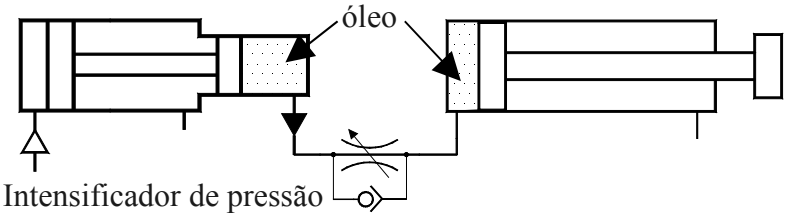
A pressão **Pa** é multiplicada pela relação de redução entre as áreas **A** e **B**, resultando **Pb = Pa** x (**A**/**B**)



Exemplos de emprego de conversores hidropneumáticos



Conversor ar–óleo

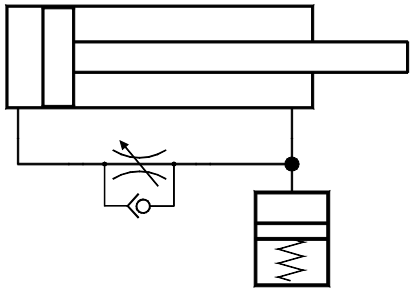


Intensificador de pressão

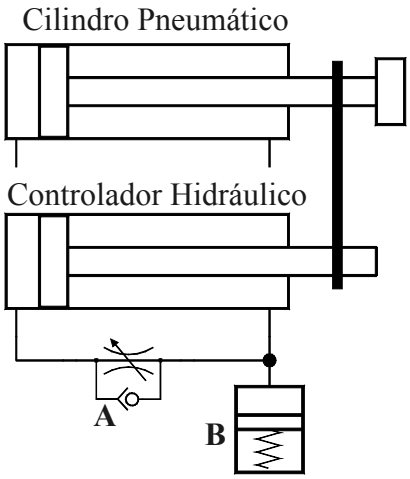
2.5.7 Controladores hidráulicos de velocidade

São equipamentos auxiliares aos circuitos pneumáticos. Através do controle de fluxo do óleo do controlador, regulam de forma eficaz a velocidade dos cilindros pneumáticos a eles conectados.

O controlador consiste em um cilindro hidráulico com as câmaras interligadas através de uma válvula controladora de fluxo unidirecional, com um acumulador para compensar as diferenças de áreas entre as duas câmaras (se o cilindro for de haste simples). Tal cilindro tem a sua haste conectada à haste do cilindro pneumático cuja velocidade se quer controlar.



O cilindro pneumático, ao avançar, arrasta consigo a haste do controlador, forçando o óleo do controlador a escoar do lado da haste para o lado do êmbolo. Ao passar pela válvula reguladora de fluxo (**A**) o óleo é parcialmente retido, o que controla a velocidade de avanço do cilindro pneumático. Como o volume deslocado pela câmara do lado da haste é menor que o volume que se expande do lado do êmbolo, o acumulador (**B**) faz o suprimento necessário, recolhendo o excesso durante o movimento de retorno.



EXERCICIOS

1. Quais os elementos que compõem uma unidade de preparação de A.C.?
   Faça representação de cada um deles.

2. Dê duas funções do filtro e os cuidados necessários para um bom funcionamento do mesmo.

3. Qual a função e como podem ser os drenos? Faça a representação dos mesmos.

4. Dê os tipos de reguladores de pressão e suas respectivas simbologias.

5. Porque o ar comprimido precisa ser lubrificado? Em que casos isso não acontece? Quais os inconvenientes de cada caso?

6. Cite os principais tipos de cilindros pneumáticos e faça a representação de cada um deles.

7. Faça o esboço de um cilindro pneumático e nele indique as partes que o compõe.

8. Como pode ser o amortecimento dos cilindros de duplo efeito ?

9. Faça a representação e dê a função dos cilindros abaixo:
   - Cilindro duplex contínuo
   - Cilindro duplex geminado
   - Cilindro de haste dupla
   - Cilindro de tração por cabos
   - Cilindro de impacto

10. Como deve ser feito o controle de velocidade de um cilindro de duplo efeito ?

11. Qual a função e a simbologia de um atuador rotativo?

12. Calcule a força de um cilindro de duplo efeito com diametro de 100 mm (diametro da haste 27 mm), trabalhando com pressão de 8 kgf/cm^2. Considere desprezível o atrito.

13. Calcule o consumo de ar de um cilindro de duplo efeito com diametro de 100 mm (diametro da haste 27 mm), pressão de trabalho 9 kgf/cm^2, curso 150 mm, e número de ciclos por minuto 30. Usar Patm = 1,0 kgf/cm2

14. Como funciona e qual a função de um controlador hidráulico de velocidade ? Qual a simbologia.

15. Quais os tipos de motores pneumáticos existentes? Qual a simbologia?

2.6 Válvulas:

São os elementos utilizados para comando dos atuadores, exercendo função preponderante dentro dos circuitos fluídicos e são classificadas conforme suas funções. Podem ser:

- controladoras de direção.

- controladoras de fluxo.

- controladoras de pressão.

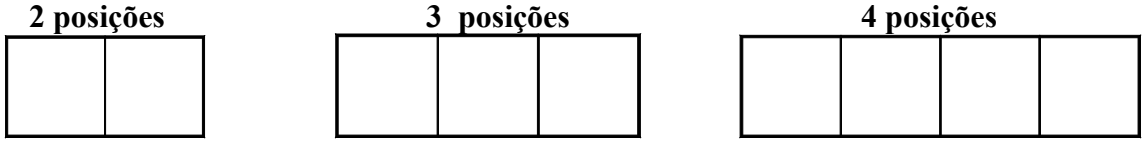
- de bloqueio.

2.6.1 Controladoras de direção.

As válvulas de controle direcional (VCD) são empregadas para comando de cilindros e sinalização de circuitos e são classificadas segundo os parâmetros seguintes:

1. <u>Quanto</u> <u>ao</u> <u>número</u> <u>de</u> <u>posições:</u>

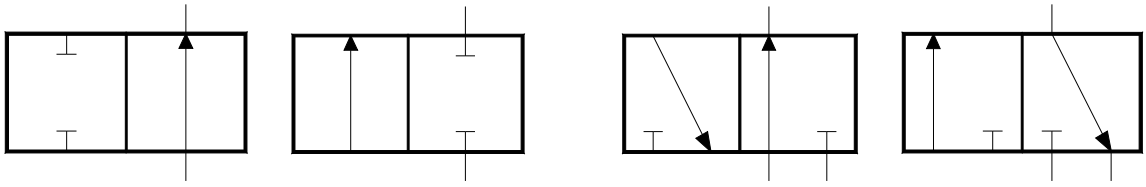
Podem ser de 2, 3 ou 4 posições e estas são representadas por quadrados para cada tipo de posição.



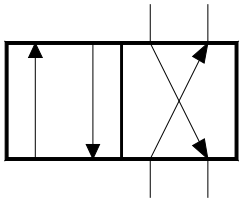
2. <u>Quanto</u> <u>ao</u> <u>número</u> <u>de</u> <u>vias:</u>

Podem ser de 2, 3, 4 ou 5 vias e estas são representadas por linhas internas aos quadrados(tês e setas - bloqueio, direção e sentido, respectivamente), indicando o comportamento do fluxo de ar. Conta-se o número de vias em apenas um dos quadrados, observando-se quantas linhas internas tocam os limites horizontais dos quadrados.

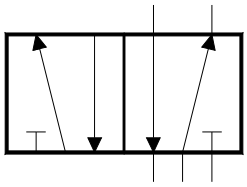
Para válvulas de duas posições temos as seguintes configurações:



N.A. 2 vias N.F. **N.A 3 vias N.F.**

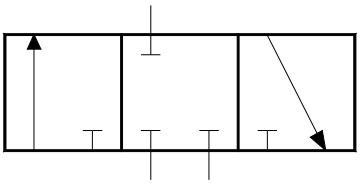


4 vias

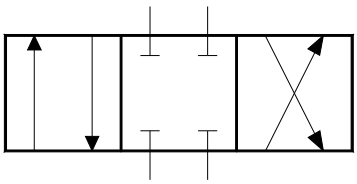


5 vias

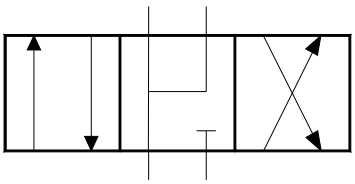
Para válvulas de três posições podemos ter:



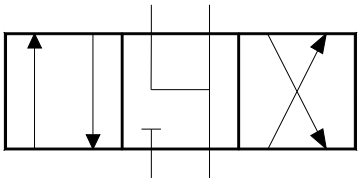
3/3 - Centro Fechado



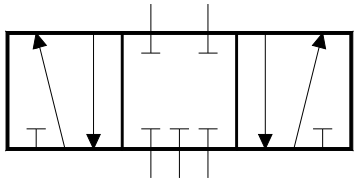
4/3-Centro Fechado (CF)



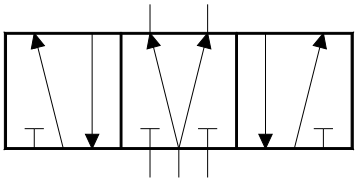
4/3-Centro Aberto Positivo (CAP)



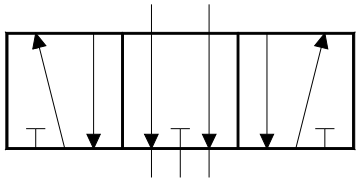
4/3 - Centro Aberto Negativo (CAN)



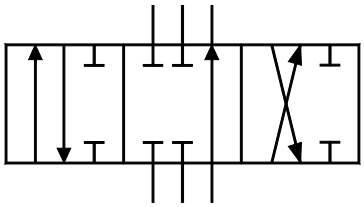
5/3 - Centro Fechado (CF)



5/3 - Centro Aberto Positivo (CAP)

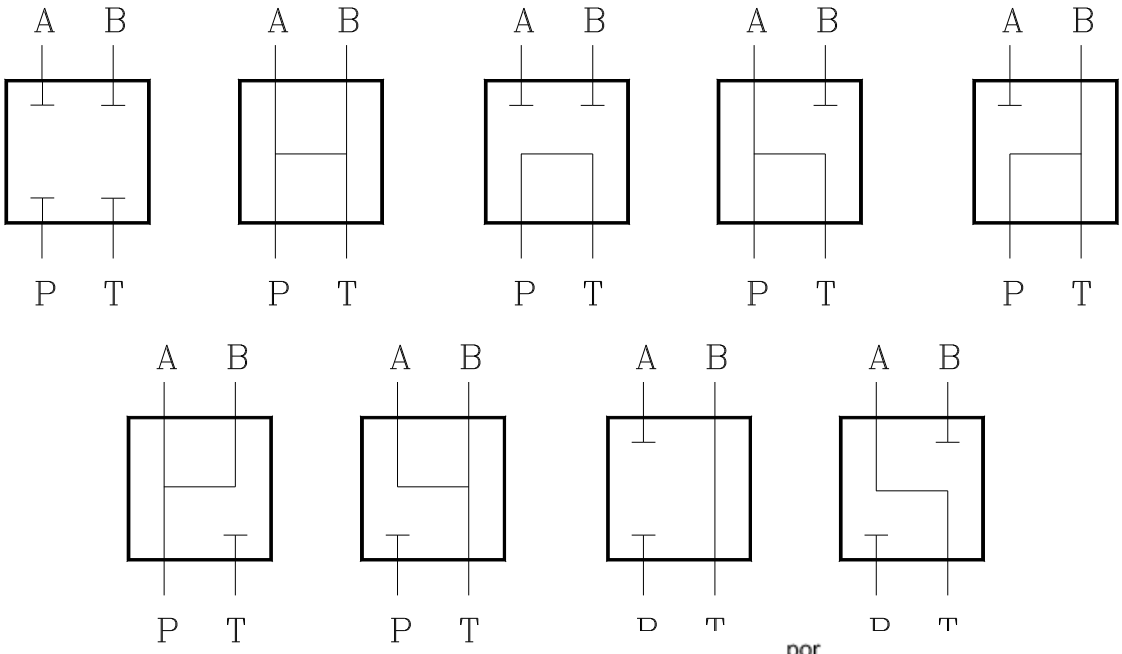


5/3 - Centro Aberto Negativo (CAN)



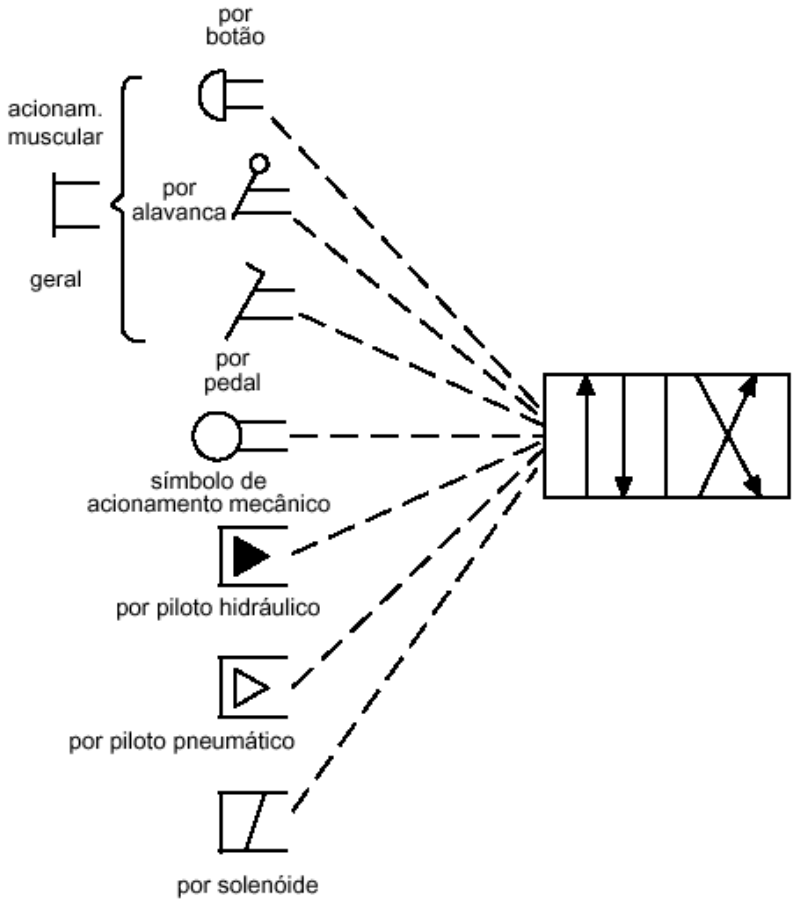
6/3 - Centro fechado com circulação neutra

TIPOS DE CENTROS USADOS NAS VÁLVULAS 4/3



3. Quanto ao tipo de acionamento:

Podem ter o acionamento por ação muscular, pressão piloto, mecânica ou elétrica, dependendo da aplicação e do porte da válvula.



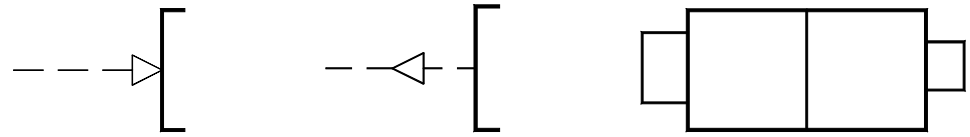
MUSCULAR

Os acionamentos musculares são utilizados em válvulas emissoras de sinal e de pequeno porte, geralmente para iniciar ou parar um movimento.

BOTÃO **ALAVANCA** **ALAVANCA COM TRAVA** **PEDAL**

PRESSÃO PILOTO

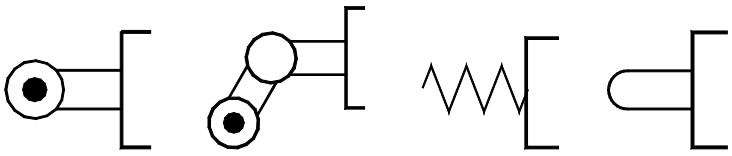
Os acionamentos por pressão piloto são empregados em válvulas com funções lógicas ou amplificadoras dentro dos circuitos, sendo o sinal recebido de outra válvula. Podem ser de piloto positivo (aumento da pressão de uma câmara), piloto negativo (exaustão do ar comprimido de uma câmara) ou por diferencial de áreas (mesma pressão atuando em áreas opostas e de valores distintos). São de grande utilidade em circuitos combinacionais ou seqüenciais.



PILOTO POSITIVO **PILOTO NEGATIVO** **DIFERENCIAL DE ÁREAS**

MECÂNICO

Os acionamentos mecânicos são empregados em válvulas detectoras de posições de fins de curso de cilindros, ferramentas, portas, etc. Podem ser do tipo rolete, gatilho, mola ou pino apalpador.



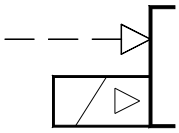
Rolete Gatilho Mola Pino apalpador

ELÉTRICO

Os acionamentos por solenóide são empregados em todos os tipos de válvulas, sendo o sinal oriundo de sensores (de posição, de temperatura, de deslocamento, etc.). São de grande vantagem em circuitos complexos pela facilidade de comunicação com equipamentos controladores tais como CLP's, microcontroladores ou computadores. Podem ser do tipo direto, indireto ou combinado.

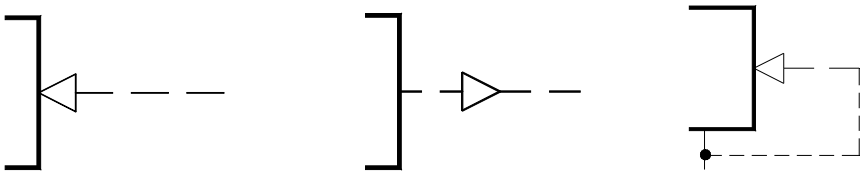
Direto Indireto

COMBINADO



4. Quanto ao tipo de retorno:

PNEUMÁTICO



PILOTO POSITIVO **PILOTO NEGATIVO** **SUPRIMENTO INTERNO**

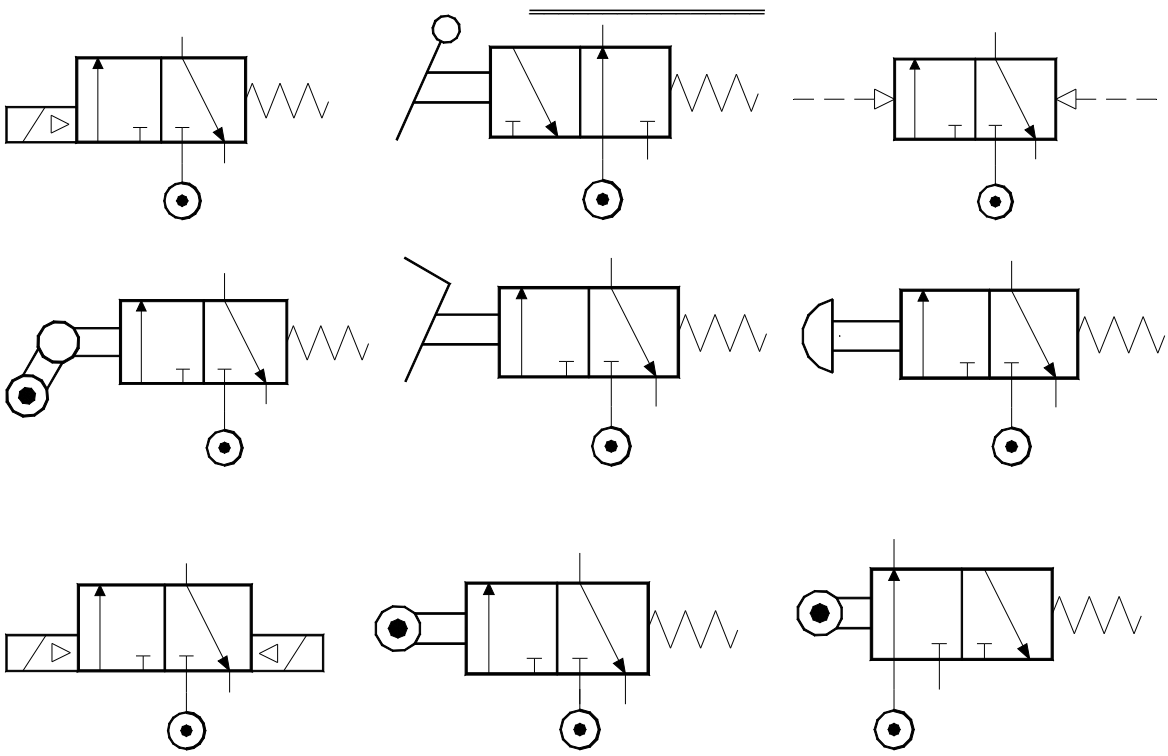
MECÂNICO **ELÉTRICO**

MOLA **SOLENÓIDE**

5. Quanto ao tipo construtivo:

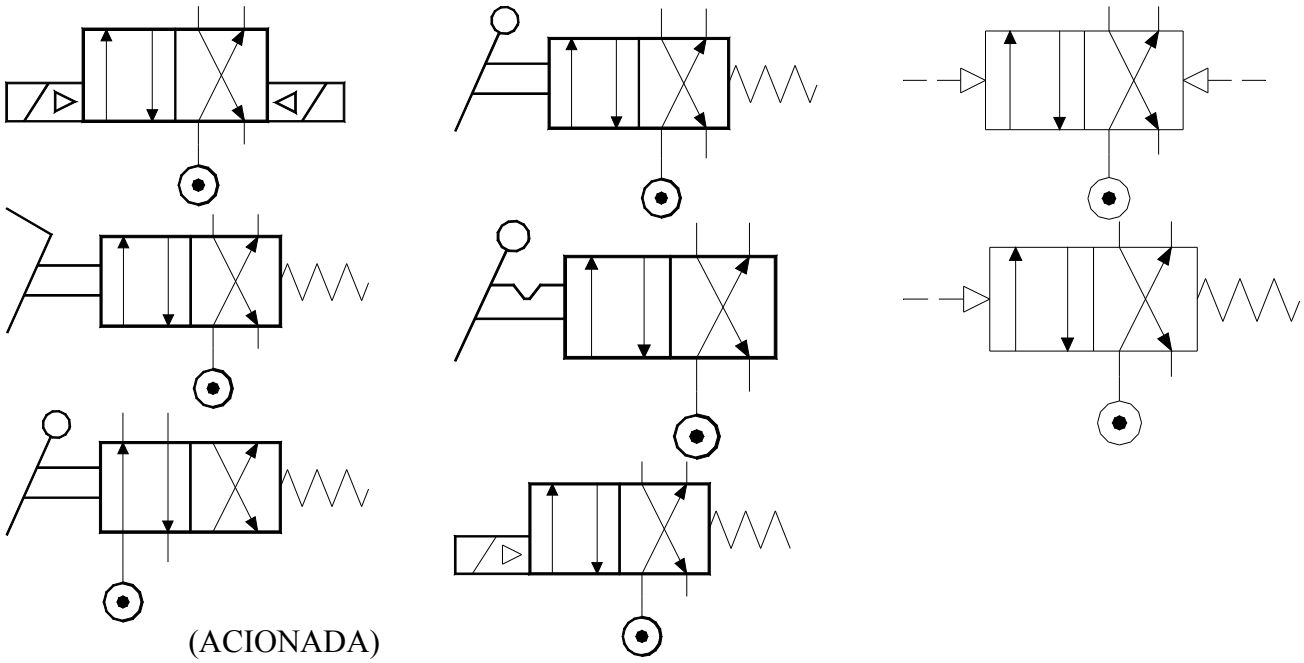
Podem ser de assento ou de cursor, sendo o primeiro tipo de construção empregado para válvulas que necessitem de pequenos tempos de comutação, mas exigem uma força de acionamento consideravelmente alta, enquanto as outras necessitam de um tempo de comutação e um curso consideravelmente maior.

VÁLVULAS DE 3 VIAS E 2 POSIÇÕES (3/2)



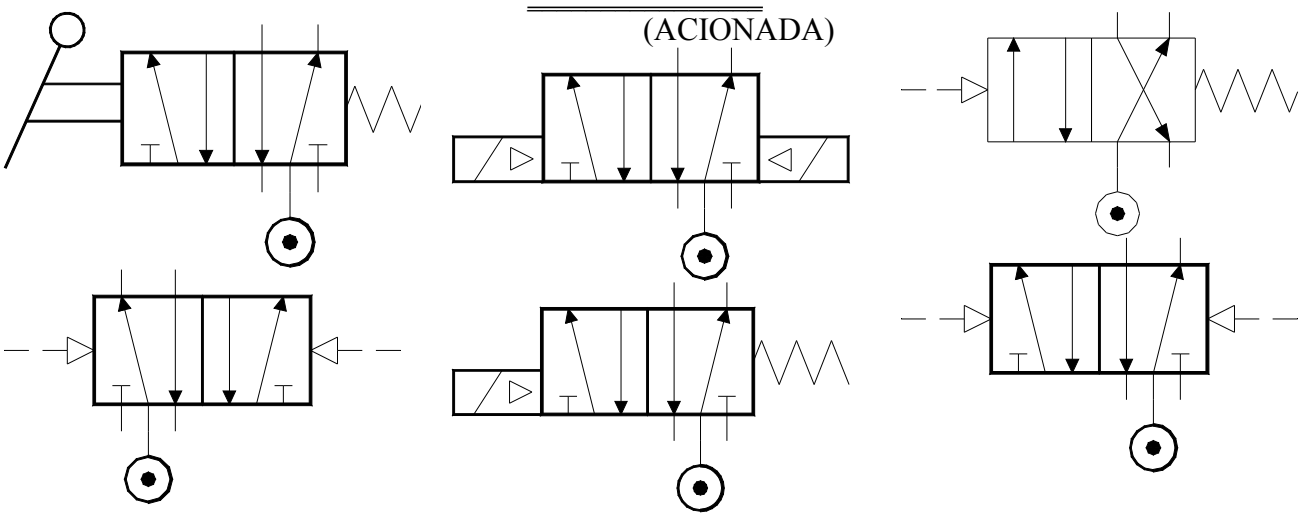
(ACIONADA)

VÁLVULAS DE 4 VIAS E 2 POSIÇÕES (4/2)

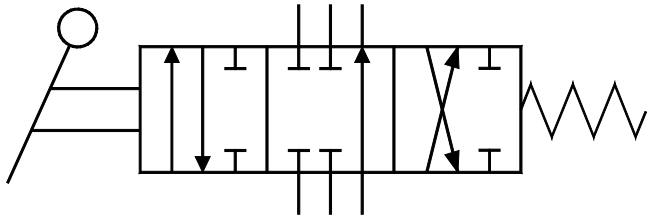


(ACIONADA)

VÁLVULAS DE 5 VIAS E 2 POSIÇÕES (5/2)



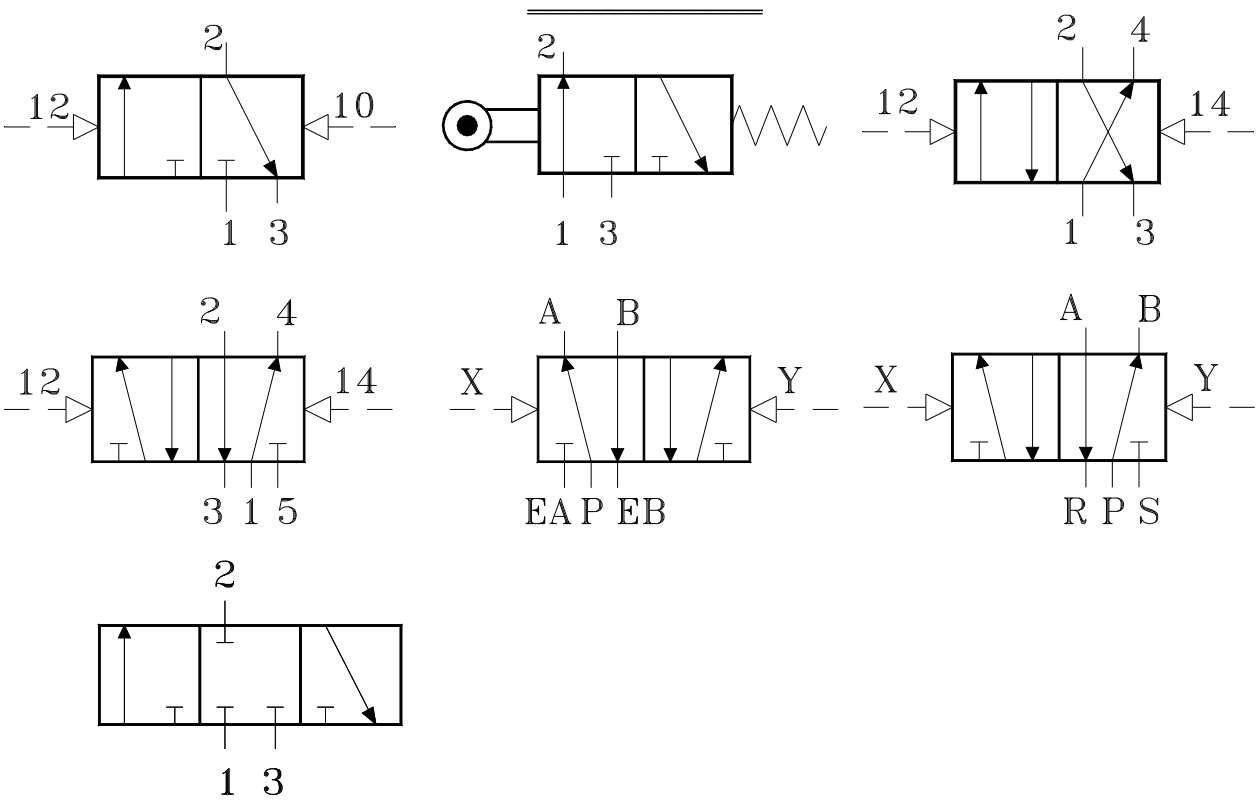
VÁLVULA DE 6 VIAS E 3 POSIÇÕES (6/3)



NORMALIZAÇÃO DO ORIFÍCIO DAS VÁLVULAS

ORIFÍCIO	DIN 24.300			ISO 5599		
PRESSÃO (entrada do fluido pressurizado)		P			1	
SAÍDAS (do fluido pressurizado)	A	B	C	2	4	6
ESCAPE ou RETORNO	EA R	EB S	EC T	3	5	7
PILOTOS (entrada de fluido para acionamento da válvula)	X	Y	Z	10	12	14

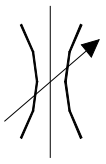
Exemplos de identificação de orifícios de válvulas direcionais



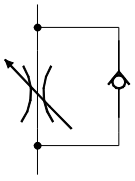
2.6.2 Controladoras de fluxo.

São empregadas para regular o fluxo através de um componente, possibilitando assim o controle de velocidade de cilindros e motores, e em outras operações auxiliares, como gerar retardos (temporizar) de sinais. Podem ser bidirecionais ou unidirecionais. Vale ressaltar que pode ser regulado o fluxo pressurizado que está entrando no atuador (cilindro ou motor) ou o fluxo despressurizado de saída . No primeiro caso podem ocorrer grandes variações de velocidade para pequenas variações na carga, principalmente quando a reguladora está ajustada para pequenos fluxos (pequenas velocidades dos atuadores), o que só deve ser empregado em cilindros de simples efeito ou de pequeno porte.

CONTROLADORA DE FLUXO BIDIRECIONAL VARIÁVEL

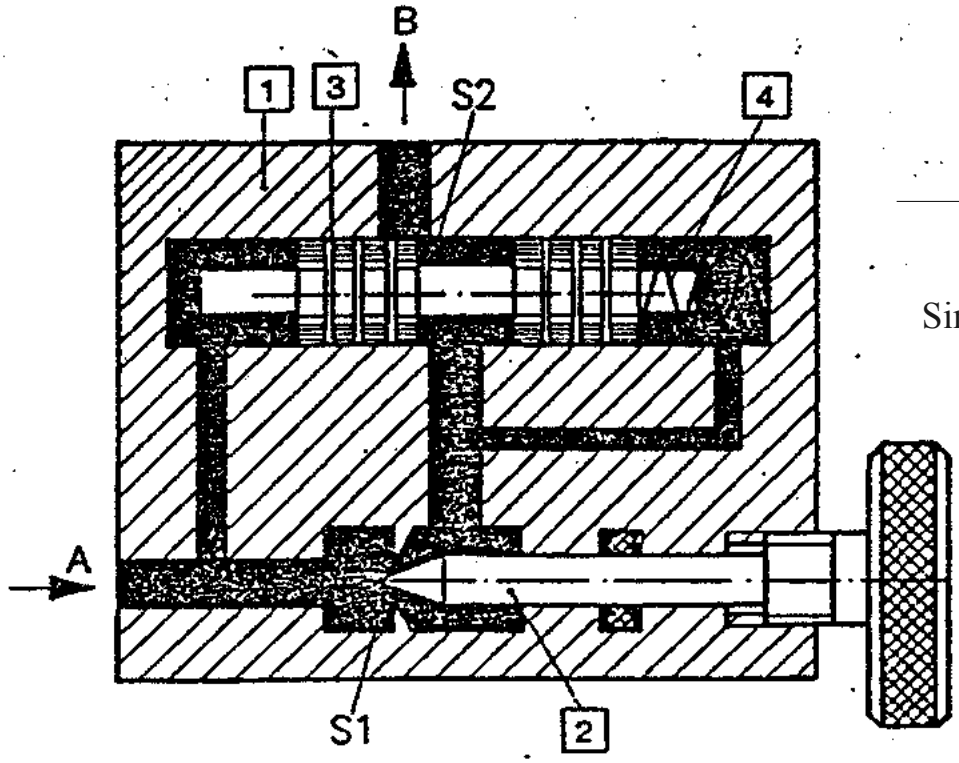


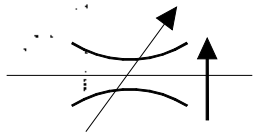
CONTROLADORA DE FLUXO UNIDIRECIONAL VARIÁVEL



VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO COM COMPENSAÇÃO DE PRESSÃO

Em uma primeira análise, qualquer variação na pressão, antes ou depois da reguladora de fluxo resulta numa mudança de velocidade do atuador. Assim surge a necessidade uma válvula cujo ajuste seja imune a essas variações.





Simbologia

Função: r

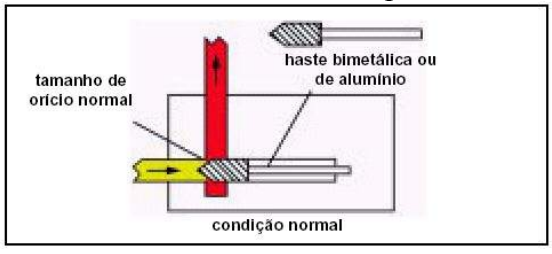
VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO COM COMPENSAÇÃO DE TEMPERATURA.

Compensação de Temperatura com uma Haste Bi-metálica.

Um método de compensação de temperatura é o uso de uma haste bimetálica ou de alumínio. A haste é ligada à parte móvel que controla o tamanho do orifício de acordo com a mudança de temperatura.

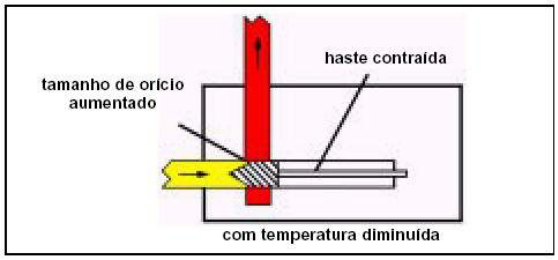
A taxa de fluxo através de um orifício tende a se tornar maior à medida que a temperatura aumenta. O calor expande a haste, que empurra a parte móvel que controla o tamanho do orifício em direção à sua sede, diminuindo a abertura.

A taxa de fluxo para o fluido frio, com o orifício maior, é a mesma que a taxa de fluxo através do orifício normal, antes de resfriado. Portanto, o fluxo não é afetado pela diminuição de temperatura.



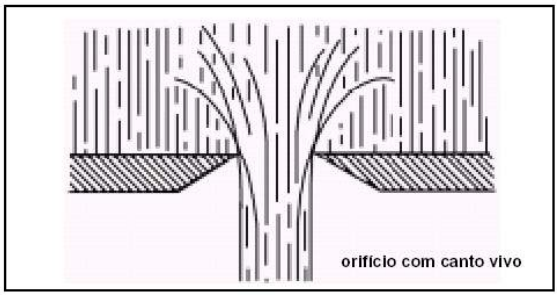
Se a temperatura diminuir, a taxa de fluxo tende a ficar menor. A temperatura diminuída contrai a haste que puxa a parte móvel para fora de sua sede, aumentando a abertura.

A taxa de fluxo para o fluido aquecido, através do orifício menor, é a mesma que a taxa de fluxo através do orifício normal, antes do aquecimento. Conseqüentemente a taxa de fluxo não é afetada por um acréscimo de temperatura.



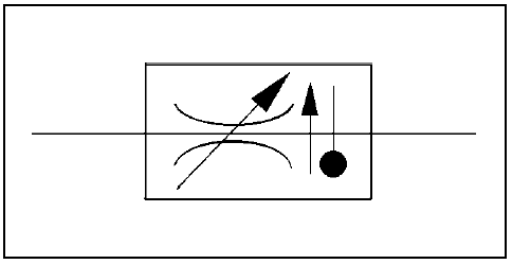
Compensação de Temperatura num Orifício de Canto Vivo

Experimentos em laboratório mostraram que quando o líquido passa através de um orifício de formas bem definidas, com canto vivo, a taxa de fluxo não é afetada pela temperatura. A maneira pela qual o líquido sofre um cisalhamento, enquanto se move sobre o canto vivo, é de tal caráter que ele na realidade cancela ou neutraliza o efeito da viscosidade do fluido. A razão porque isso ocorre não é compreendida claramente, mas o seu efeito é o de um controle muito preciso.

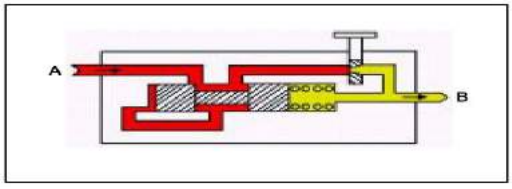


Válvula Controladora de Fluxo com Temperatura e Pressão Compensadas

A compensação de temperatura, usando-se um orifício de canto vivo, é uma compensação do tipo não-móvel que desconsidera os efeitos da temperatura acima de um dado limite.



É muito difícil projetar e fabricar um orifício deste tipo, porque as características do orifício devem cair dentro de certos limites

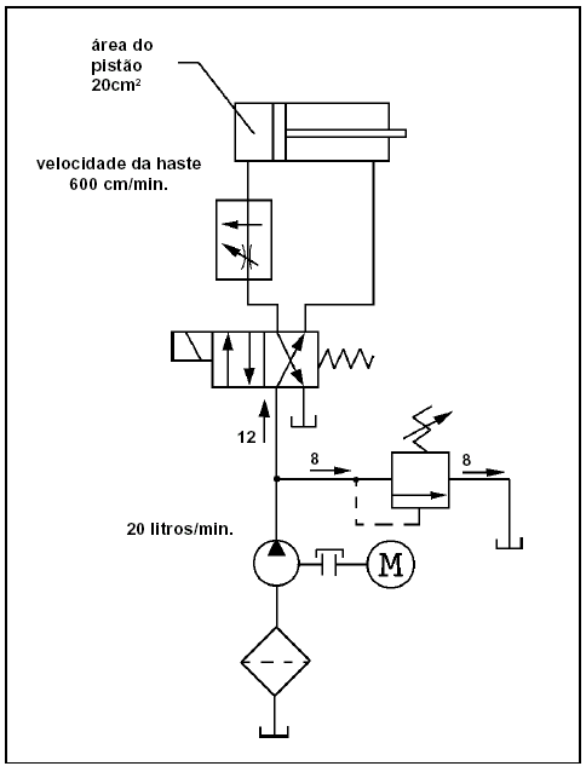


matemáticos, e o orifício deve ser usinado com precisão, além de possuir tolerâncias muito apertadas. Alguns fabricantes ainda utilizam o método de haste bimetálica ou de alumínio na compensação de temperatura, por causa desta dificuldade.

Válvula Controladora de Fluxo com Temperatura e Pressão Compensadas no Circuito

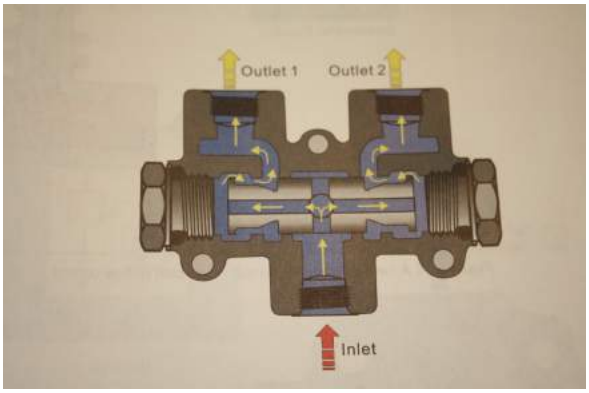
No circuito ilustrado, uma válvula controladora de vazão com pressão compensada controlará efetivamente a velocidade de operação do cilindro enquanto a temperatura permanecer a 50°C constantes.

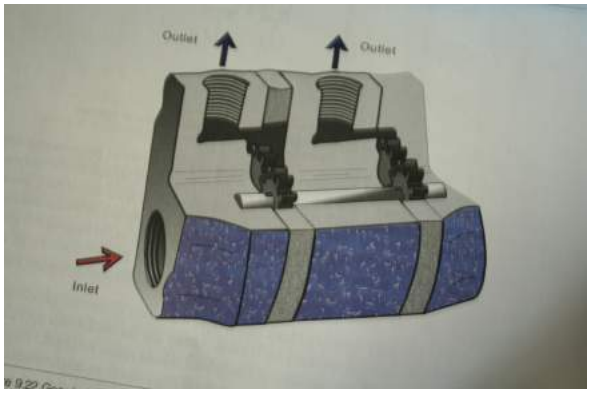
A temperatura operacional de sistemas hidráulicos industriais varia de 25°C no período da manhã a 60°C no período da tarde. Como resultado, a velocidade de operação do atuador varia no decorrer do dia.

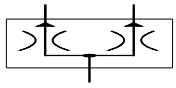


Válvula Divisora de Fluxo

Divide a vazão de modo eqüitativo para as saídas, independente da variação de pressão da entrada.







Pode ser do tipo carretel ou tipo engrenagens.

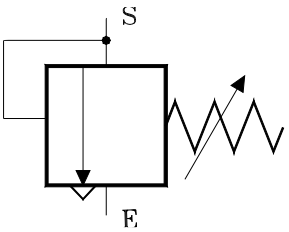
2.6.1 Controladoras de pressão.

São válvulas destinadas a influir sobre a pressão de um determinado componente ou circuito, ou a sofrer influência desta pressão. São utilizadas tanto como processadoras de sinais, como também em proteção de equipamentos e sistemas. Classificam-se em:

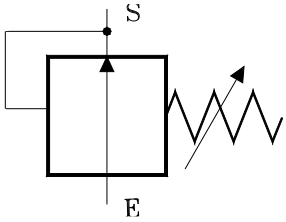
Válvulas limitadoras ou de alívio de pressão, tem como função limitar a pressão máxima em um componente.

Válvulas reguladoras de pressão, tem a função de manter estável a pressão de alimentação de determinados componentes.

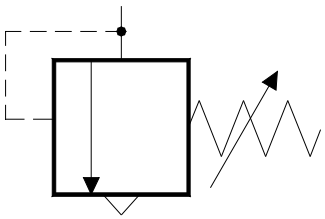
Válvulas de seqüência, funcionam de modo análogo à limitadoras de pressão, porém limitando a pressão mínima, a partir da qual o componente pode funcionar.



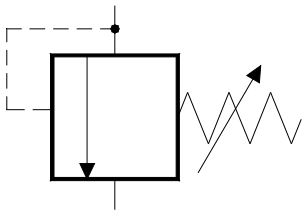
Reguladora de pressão com escape



Reguladora de pressão sem escape

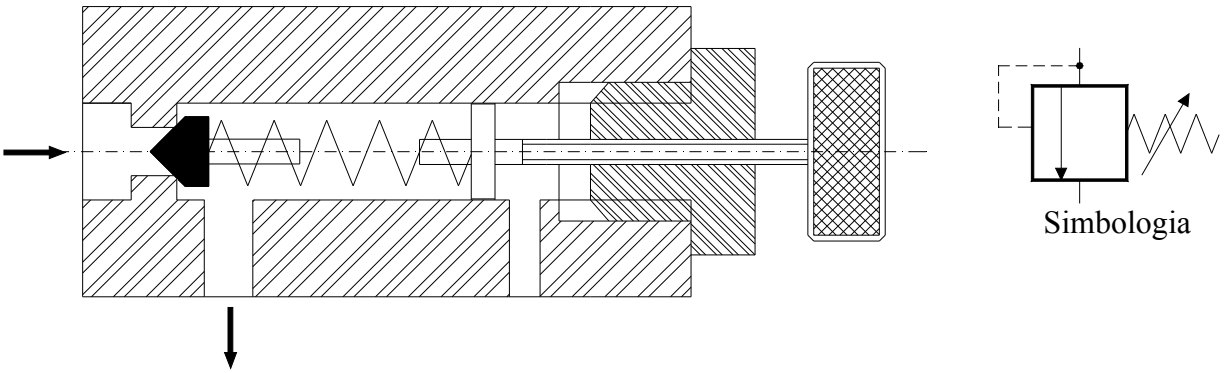


Válvula de alívio



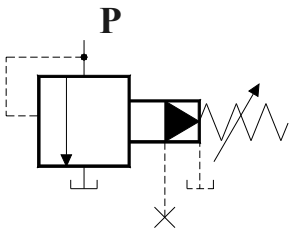
Válvula de seqüência

Válvulas Limitadoras de Pressão;

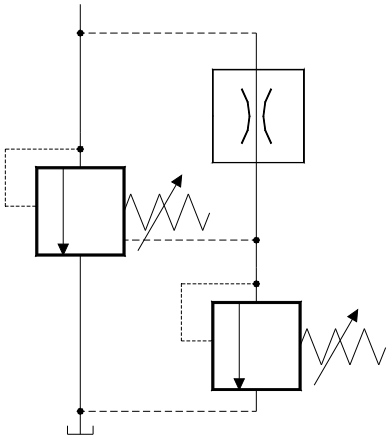


Simbologia

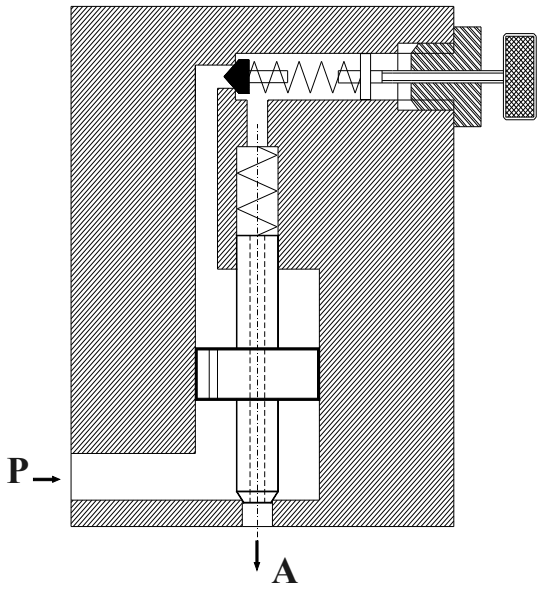
Válvulas Limitadoras de Pressão Servopilotadas;



Representação simplificada

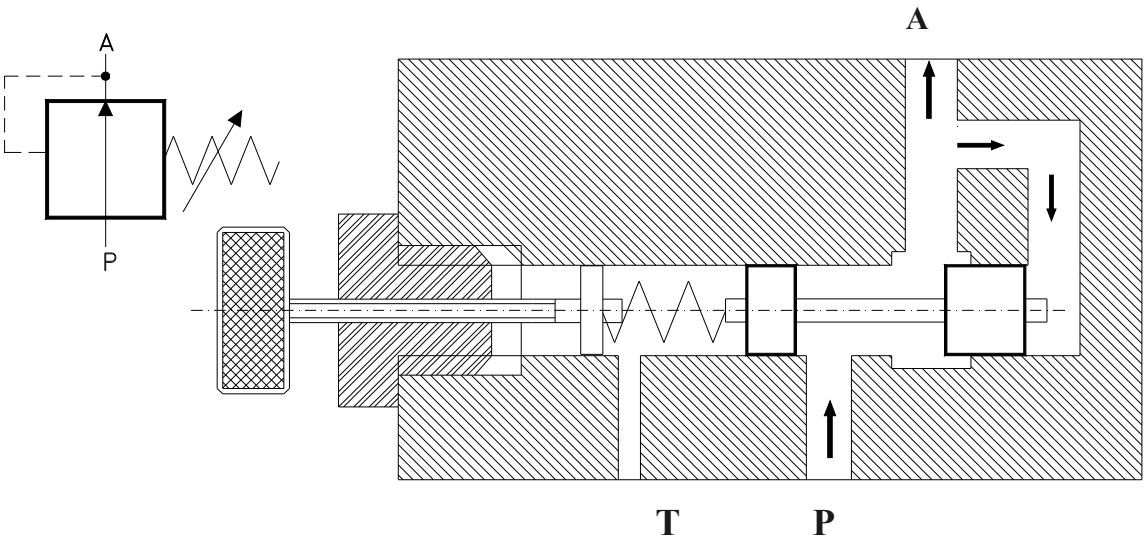


Representação detalhada

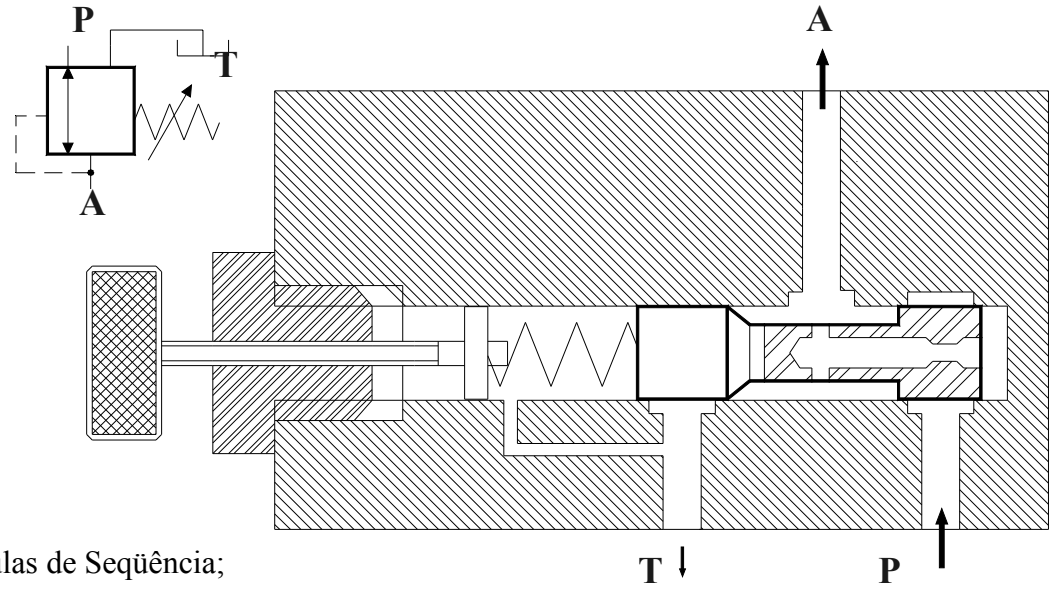


Válvulas Reguladoras de Pressão;

Tem a função de manter constante a pressão de saída.
Tipos:
Válvula reguladora de pressão com 2 vias;
(sem alívio)



Válvula reguladoras de pressão com 3 vias;

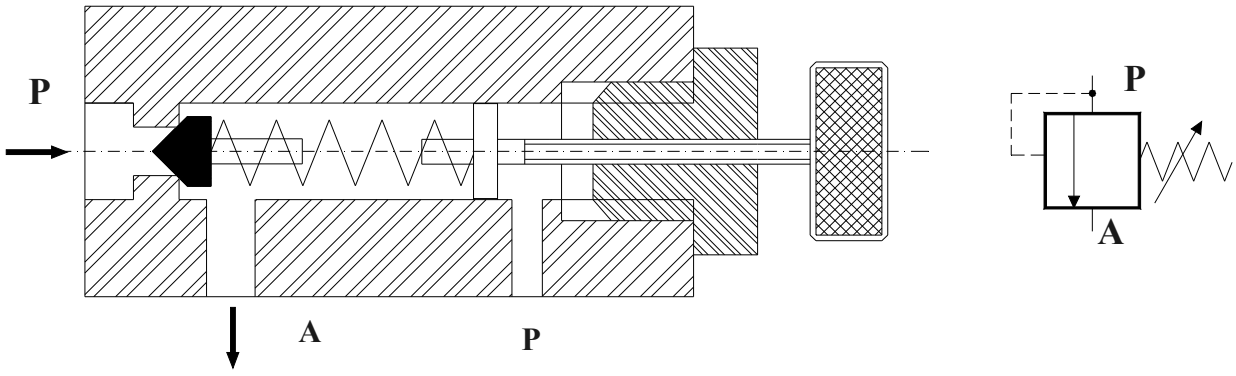


Válvulas de Seqüência;

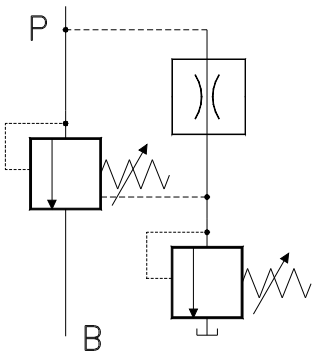
São empregadas em sistemas hidráulicos ou pneumáticos quando se necessita de movimentos seqüenciais, além de garantir a operação somente a partir de uma pressão mínima.

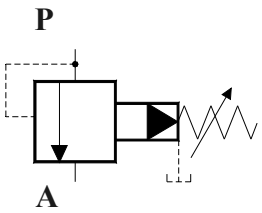
Tipos:

Válvula de seqüência operada manualmente;



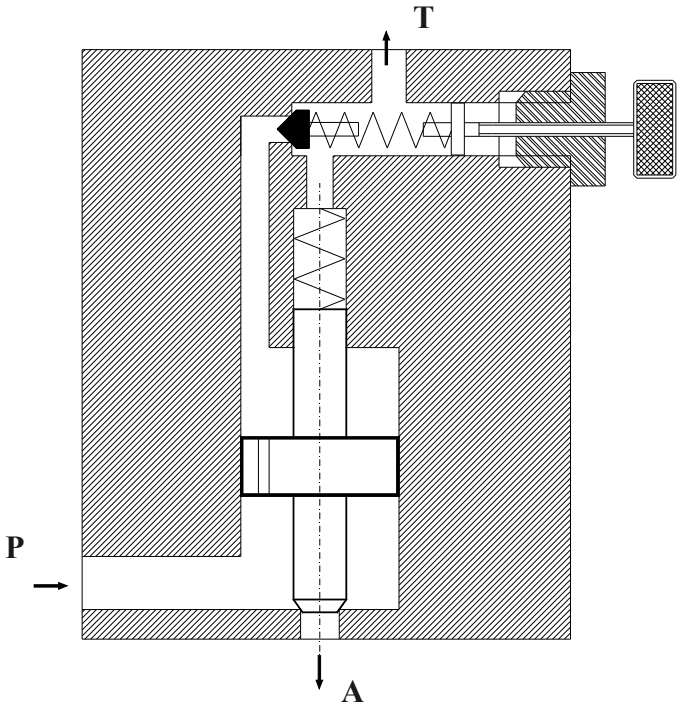
Válvula de seqüência servopilotada;





Representação simplificada

Representação detalhada

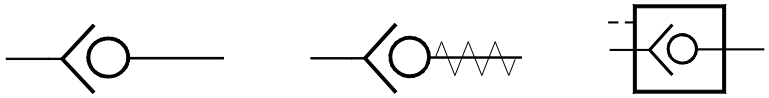


2.6.2 Válvulas de Bloqueio.

São válvulas que bloqueiam a passagem do ar, possibilitando operações lógicas booleanas, tais como OU, E, etc, principalmente quando usadas em conjunto com as direcionais. Podem ser de retenção, alternadora (OU), de simultaneidade (E) ou de escape rápido.

a. Válvulas de Retenção

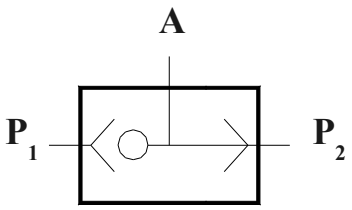
Permitem a passagem fluido em um sentido, bloqueando-a completamente no outro. Apenas a válvula de retenção pilotada permite a passagem nos dois sentidos, quando pilotada.



sem mola com mola pilotada

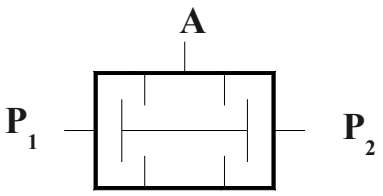
b. Válvula Alternadora

Esta válvula (também chamada válvula **OU**) seleciona sinais emitidos de duas outras válvulas, permitindo a passagem daquele de maior pressão, possibilitando que um componente (cilindro, válvula, etc.) seja acionado através de dois pontos distintos - P1 **ou** P2. Quando uma entrada é pressurizada, a outra é isolada através da retenção.



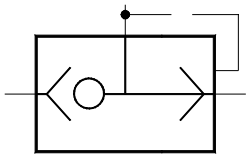
c. Válvula de Simultaneidade

Assim como a alternadora, essa válvula seleciona sinais emitidos de duas outras válvulas, porém permitindo a passagem daquele de menor pressão. Também chamada válvula **E**, é empregada para o acionamento de componentes através de dois sinais simultâneos em P1 e P2. Se apenas uma entrada for pressurizada, esta se autobloqueia e o sinal é retido.

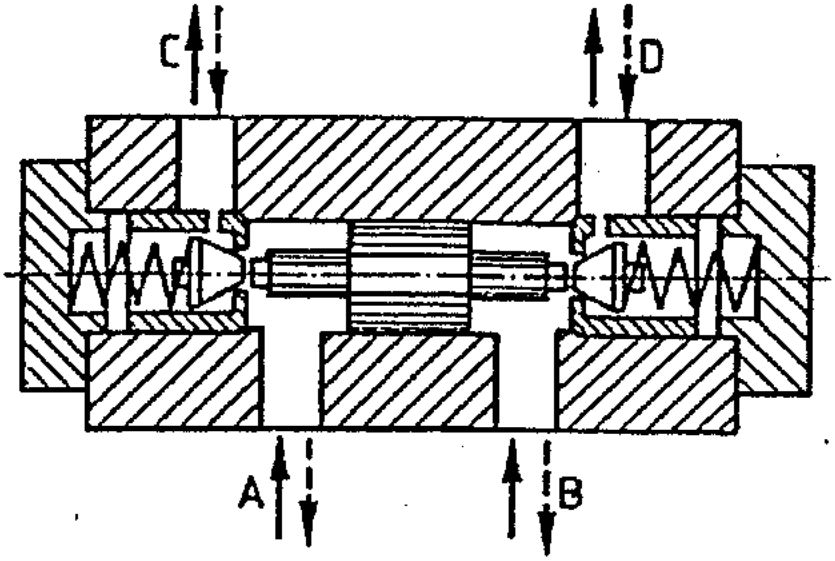


d. Válvula de Escape Rápido

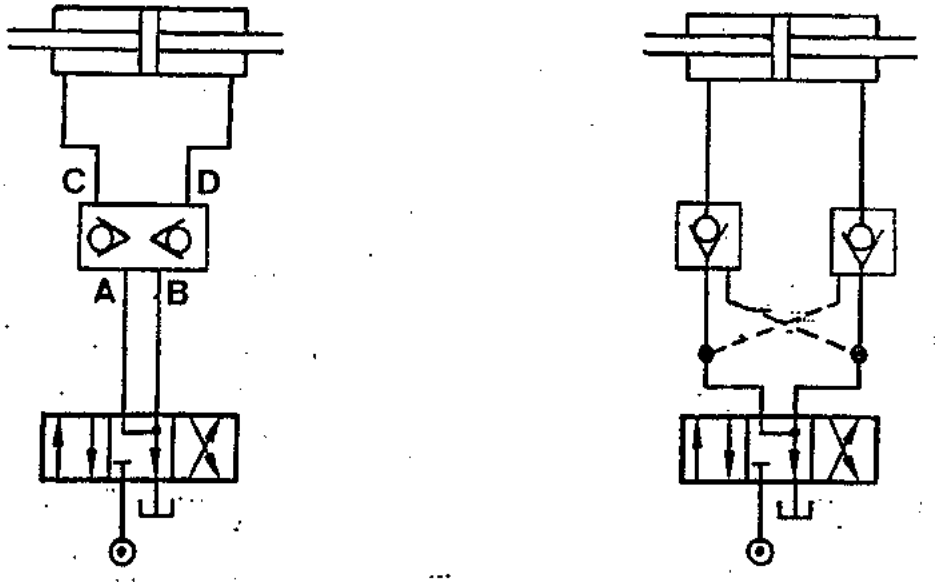
É usada em cilindros para facilitar rapidamente o escape de grandes massas de ar, permitindo assim a diminuição das perdas, com conseqüente aumento na velocidade do êmbolo.



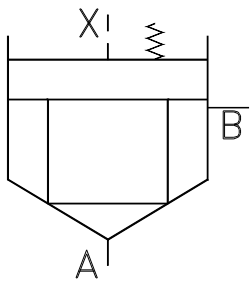
e. Válvula de Retenção Dupla



Função: Parar um pistão com carga, mantendo a válvula direcional livre de esforço.



2.6.1 Válvulas de Cartucho

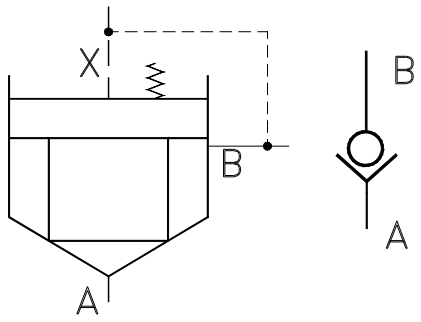


São elementos lógicos empregados em sistemas que exigem grandes vazões e altas pressões. Em uma primeira análise podemos considera-las como válvulas de retenção pilotadas. A área do piloto X é o somatório das áreas A e B e a relação entre estas duas últimas determina qual a função que o cartucho assumirá.

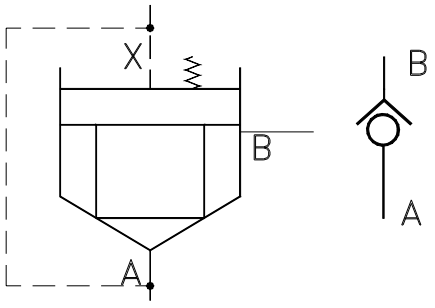
Aplicações:

1. Como retenção simples

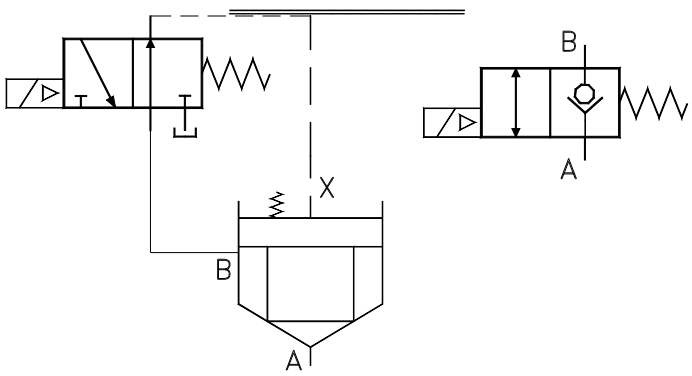
a. Não há passagem de B para A



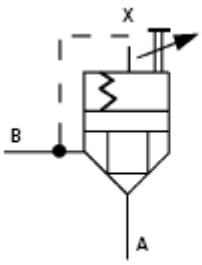
b. Não há passagem de A para B



2. Como retenção pilotada, com descompressão.



3. Como válvula de retenção com estrangulamento

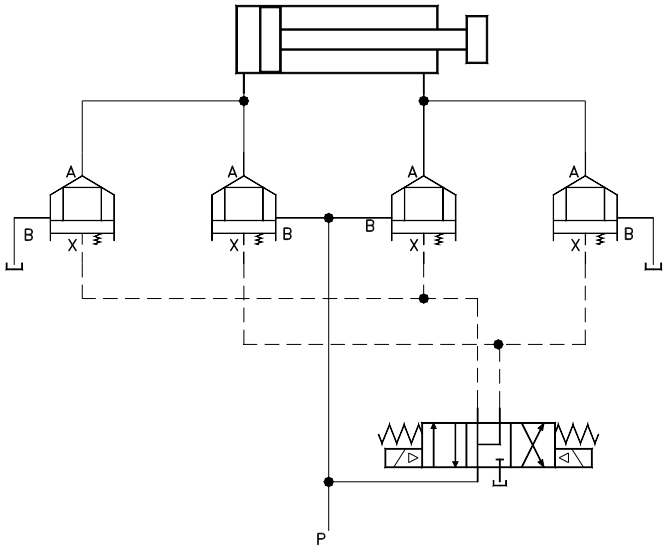


O elemento lógico controla a quantidade de óleo que passa de **A** para **B** mas bloqueia totalmente a passagem de óleo de **B** para **A**.

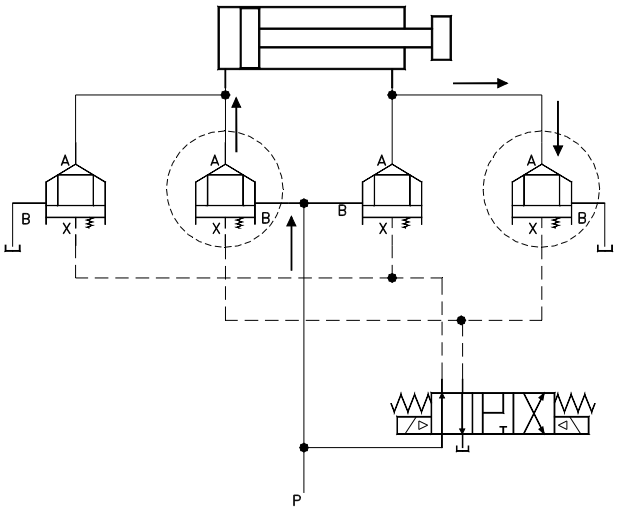
O limitador que regula a altura de elevação do êmbolo pode ser ajustado manualmente com uma válvula controladora de fluxo.

O limitador manual que ajusta a altura de elevação do êmbolo do elemento lógico é representado na figura ao lado

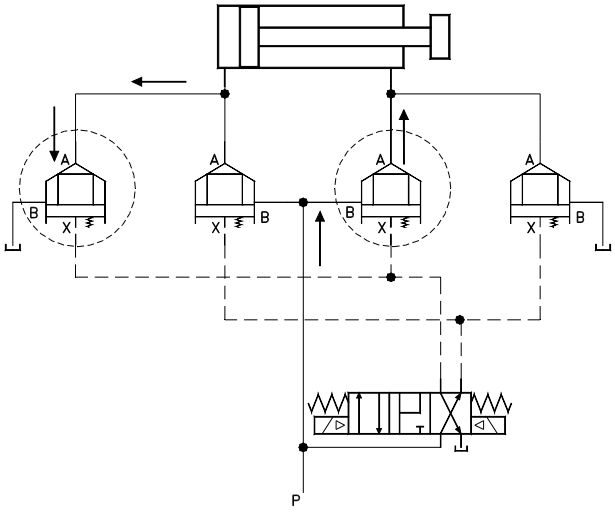
4. Como válvula direcional.



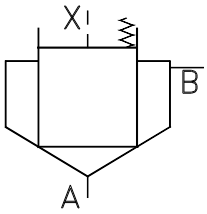
Para Avanço



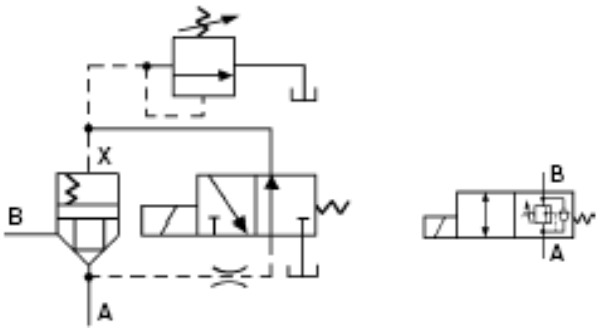
Para Retorno



5. Como controladora de pressão.

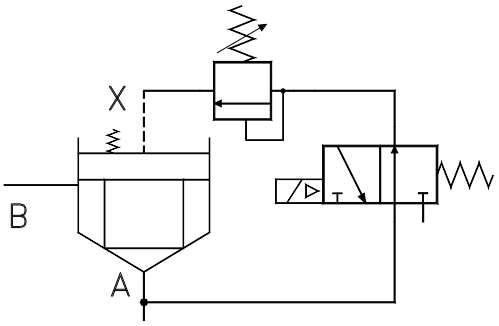


6. Como Válvula de Seqüência.



Com o solenóide da válvula direcional desligado, o elemento lógico libera a passagem do óleo de A para B, desde que a pressão em A seja maior que a pressão ajustada na válvula de limitadora incorporada ao cartucho. Ou seja, a partir de uma pressão pré-estabelecida na limitadora de pressão. Porém, se o fluxo de óleo estiver vindo de B para A, o elemento lógico permite a passagem livre do óleo, independentemente da pressão com que este se encontre. Ligando-se o solenóide da válvula direcional, o elemento lógico libera a passagem do óleo nas duas direções, independentemente da pressão do sistema.

7. Como Válvula Limitadora de Pressão



Com o solenóide da válvula direcional desligado, o elemento lógico libera a passagem do óleo de A para B, até que a pressão em A seja maior que a pressão ajustada na válvula de seqüência incorporada ao cartucho. Porém, se o fluxo de óleo estiver vindo de B para A, o elemento lógico permite a passagem livre do óleo, independentemente da pressão com que este se encontre. Ligando-se o solenóide da válvula direcional, o elemento lógico libera a passagem do óleo nas duas direções, independentemente da pressão do sistema.

O elemento lógico pode exercer várias funções, inclusive muitas funções especiais para as quais teríamos que projetar e construir componentes.

2.7 Acumuladores

Função:

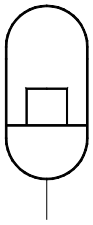
Armazenar energia produzida pelo fluido sob pressão

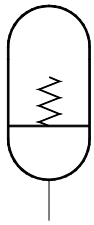
Aplicações:

- Como fonte de energia adicional.
- Como economizador de energia
- Como fonte de energia de reserva em casos de emergência.
- Como fonte de energia de compensação, para perdas por fugas.
- Para amortecer os picos de pressão ou os golpes de ariete.
- Para a estabilização de vazões pulsantes.

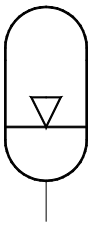
Tipos de construção:

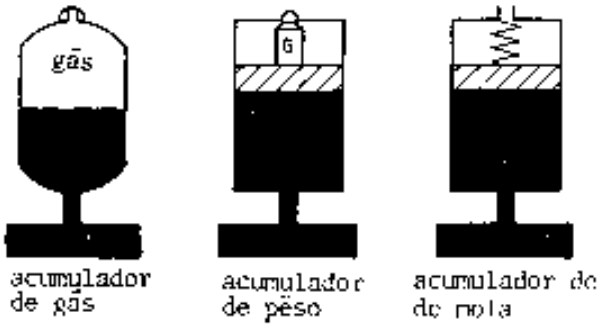
- Acumuladores a Pêso
- Acumuladores a Mola

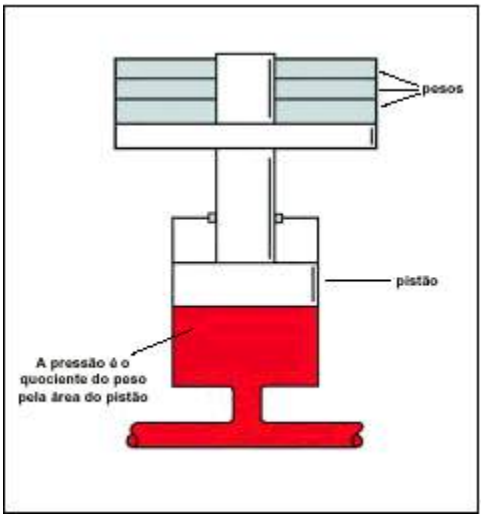


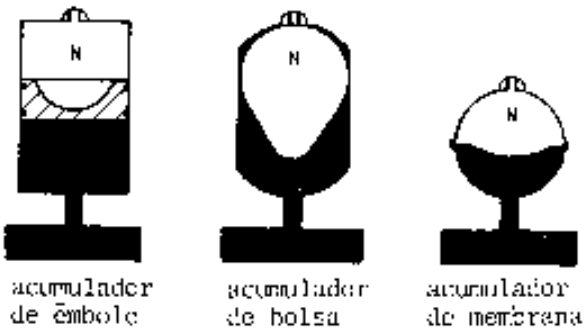


- Acumuladores a Gás:
- Membrana;
- Bolsa;
- Êmbolo.

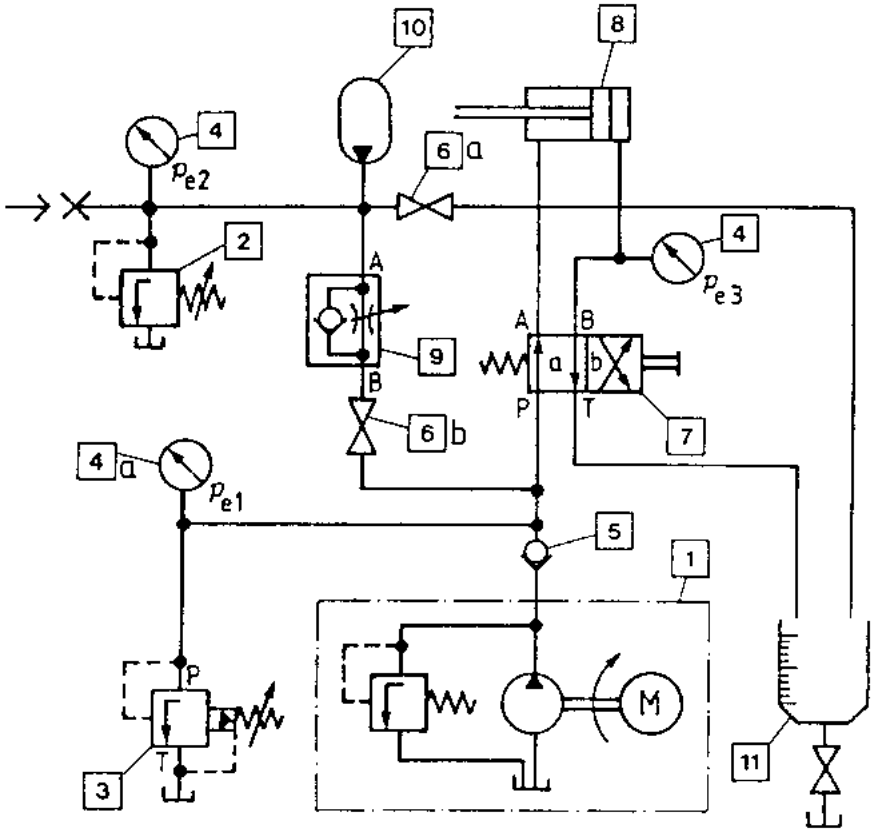




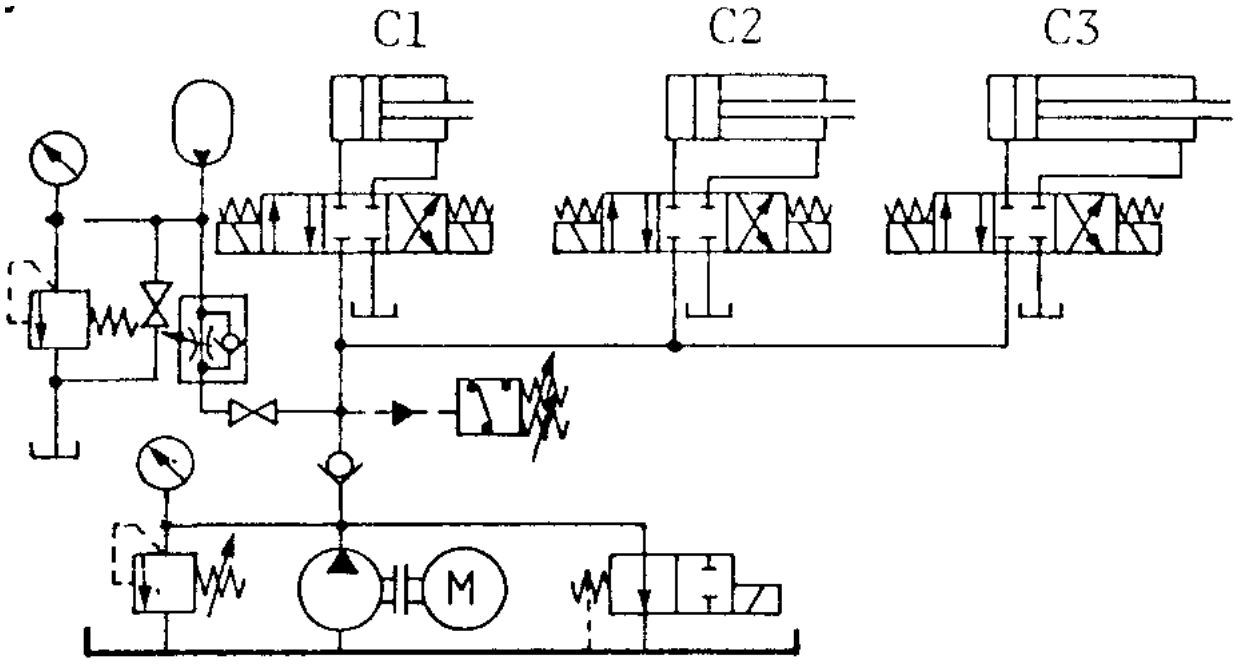




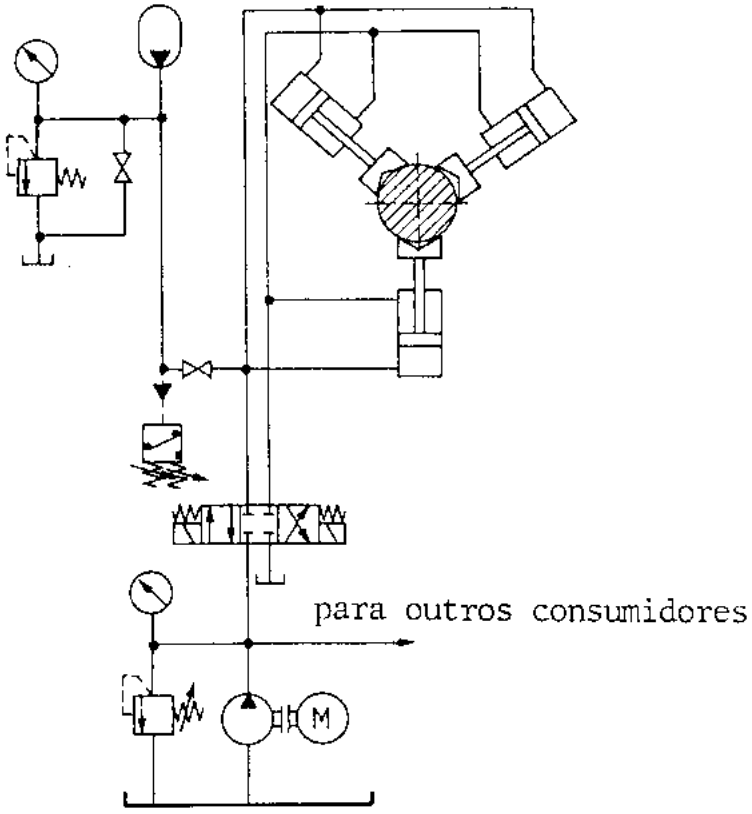
Como fonte de energia



Para economizar energia

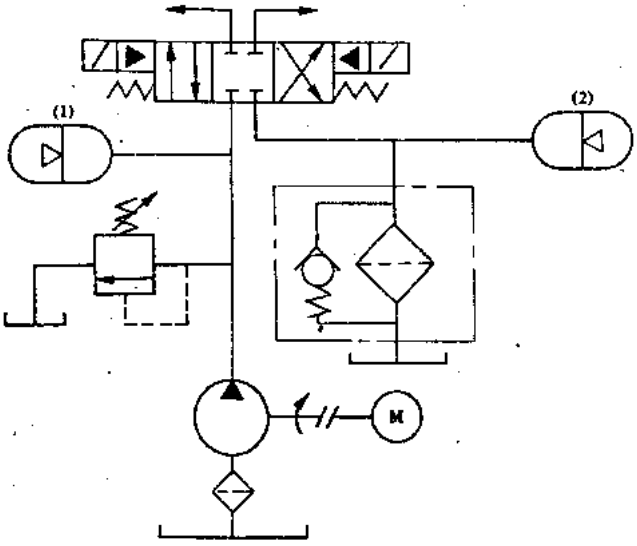


Para compensar vazamentos

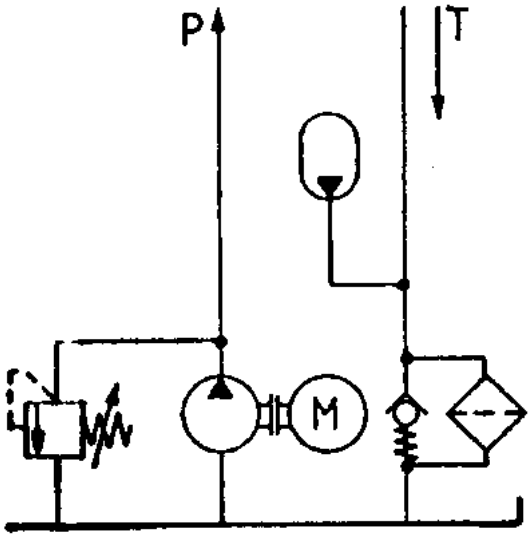


Para amortecer picos de pressão;

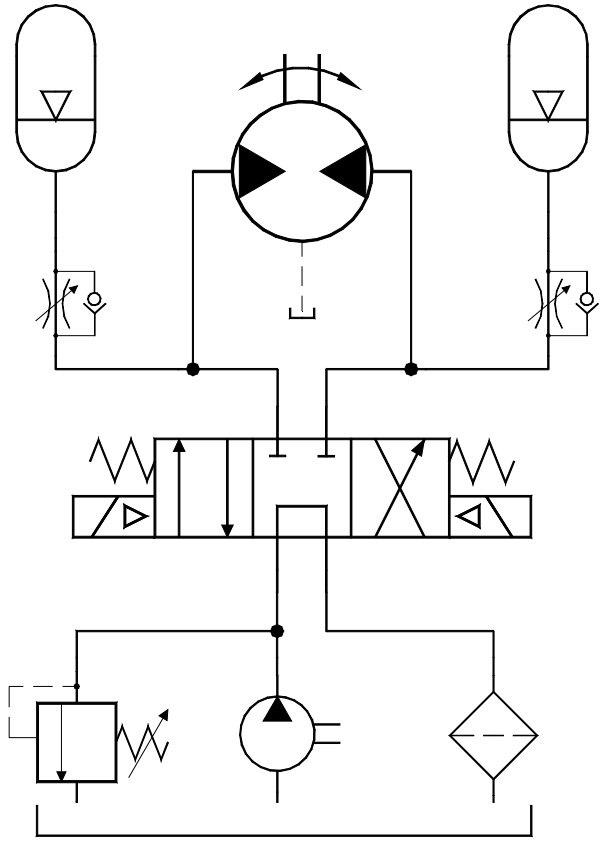
Como absorvedor de choques e pulsações



Para igualar um fluxo pulsante



Acumulador como eliminador de pulsações e absorvedor de choques



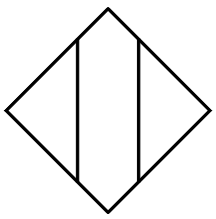
Funcionamento:

Os acumuladores têm a função de absorver a energia cinética que o motor, por exemplo, de uma escavadeira, gera ao final do seu deslocamento. Essa energia, dada a magnitude das massas em rotação, pode alcançar valores consideráveis e deve, portanto, ser absorvida no momento da frenagem, com o propósito de evitar o choque hidráulico gerado e assegurar uma parada rápida.

2.8 Sensores:

Normalmente são elementos sem contato e são utilizados como sinalizadores para os mais diversos tipos de componentes, podendo detectar presença ou proximidade de um objeto, grandezas como pressão, temperatura, vazão e umidade, e podem ser magnéticos, indutivos, óticos, capacitivos, ultra-sônicos, térmicos, etc.

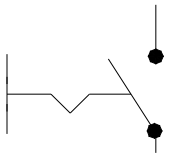
Simbologia genérica



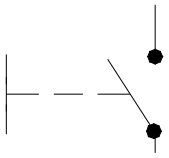
2.9 Simbologia dos componentes eletrohidráulicos e eletropeumáticos.

Simbologia, segundo a norma ABNT:

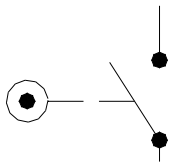
Chave com retenção (tipo trava)



Chave tipo impulso

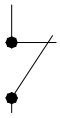


Chave fim de curso rolete NA

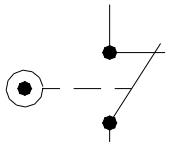


Contato NA

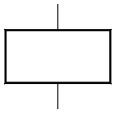
Contato NF



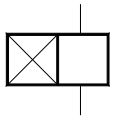
Chave fim de curso rolete NF



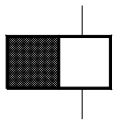
Bobina Eletromagnética



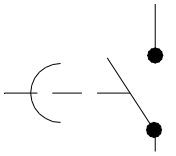
Relé de tempo (ON) (retardo na energização)



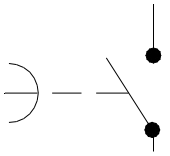
Relé de tempo (OFF) (retardo na desenergização)



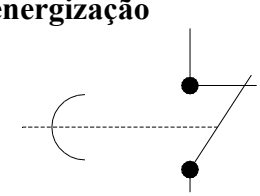
Contato NA temporizado na energização



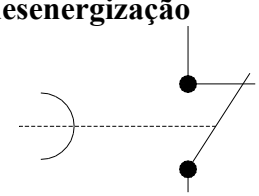
Contato NA temporizado na desenergização



Contato NF temporizado na energização



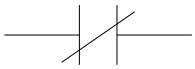
Contato NF temporizado na desenergização



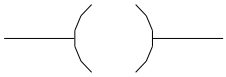
2.10 Simbologia da linguagem LADDER

Contato NA

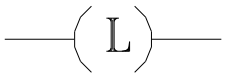
Contato NF



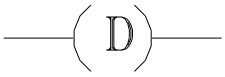
Bobina s/ retenção



Bobina liga

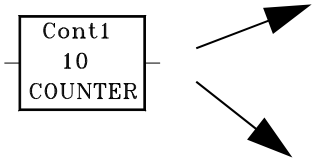


Bobina desliga



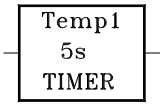
Decremental

Contador



Incremental

Temporizador

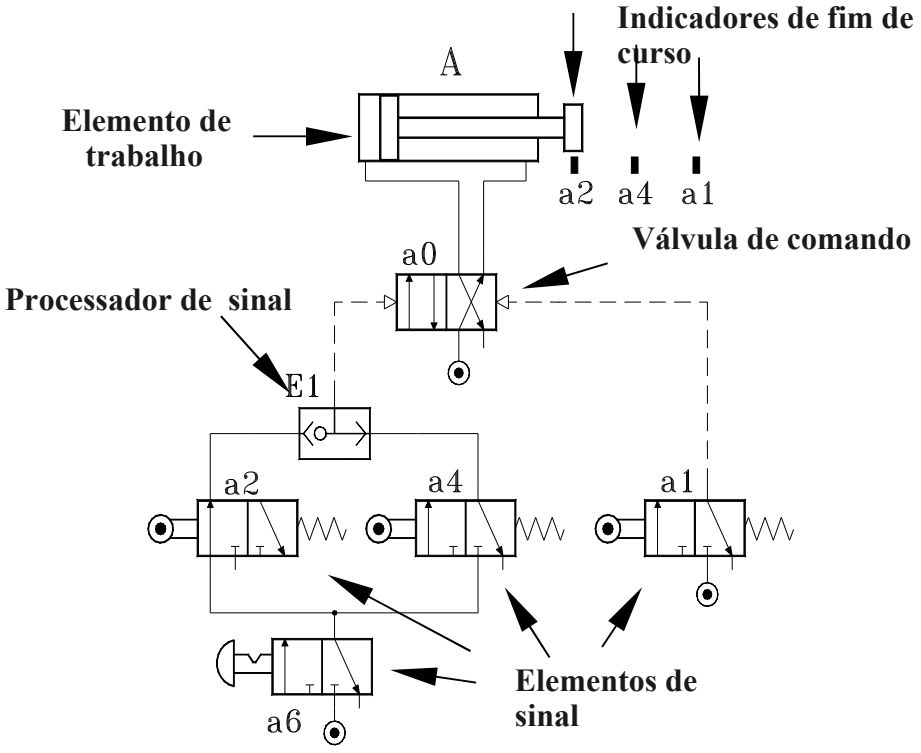


Capítulo 3 - CIRCUITOS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

3.1 Estrutura dos circuitos

Os comandos fluídicos empregam diversos componentes, vistos no capítulo anterior, que são classificados segundo a função que executam dentro do circuito. Para BOLLMANN (1997) os componentes que efetivamente convertem energia, compõem o grupo dos **elementos de trabalho**. Os componentes responsáveis pela detecção, transformação, transmissão e processamento dos sinais compõem os grupos de **elementos de sinais** e de **processadores de sinais**, enquanto aqueles que transformam os sinais de saída de forma que possam atuar sobre os acionamentos, são chamados de **elementos de comandos**. O quadro abaixo mostra os componentes de cada grupo, ilustrado pelo exemplo seguinte.

GRUPO	COMPONENTES	INDICAÇAO
Elementos de trabalho	Cilindros e motores pneumáticos.	A
Elementos de comandos	Válvulas direcionais 3/2, 4/2, 5/2, 3/3, 4/3 e 5/3.	a0
Processadores de sinais	Válvulas pneumáticas, relés, temporizadores, contadores, memórias, controladores programáveis, etc.	E0, E1, etc
Elementos de sinais	Válvulas direcionais de fins de curso, chaves de fins de curso, sensores diversos, etc.	a1, a2, a3, etc



Vale lembrar que as válvulas sinalizadoras de fim de curso que propiciam avanço recebem índice par, aquelas que propiciam retorno recebem índice ímpar, e a válvula de comando índice 0.

Os comandos pneumáticos empregados são em sua maioria binários e são classificados por BOLLMANN (1997) em função dos tipos de componentes empregados como comandos pneumáticos puros (ou simplesmente comandos pneumáticos), comandos eletropneumáticos e comandos pneutrônicos.

Comandos fluídicos puros empregam somente componentes pneumáticos/hidráulicos para a emissão de sinais, processamento e comando.

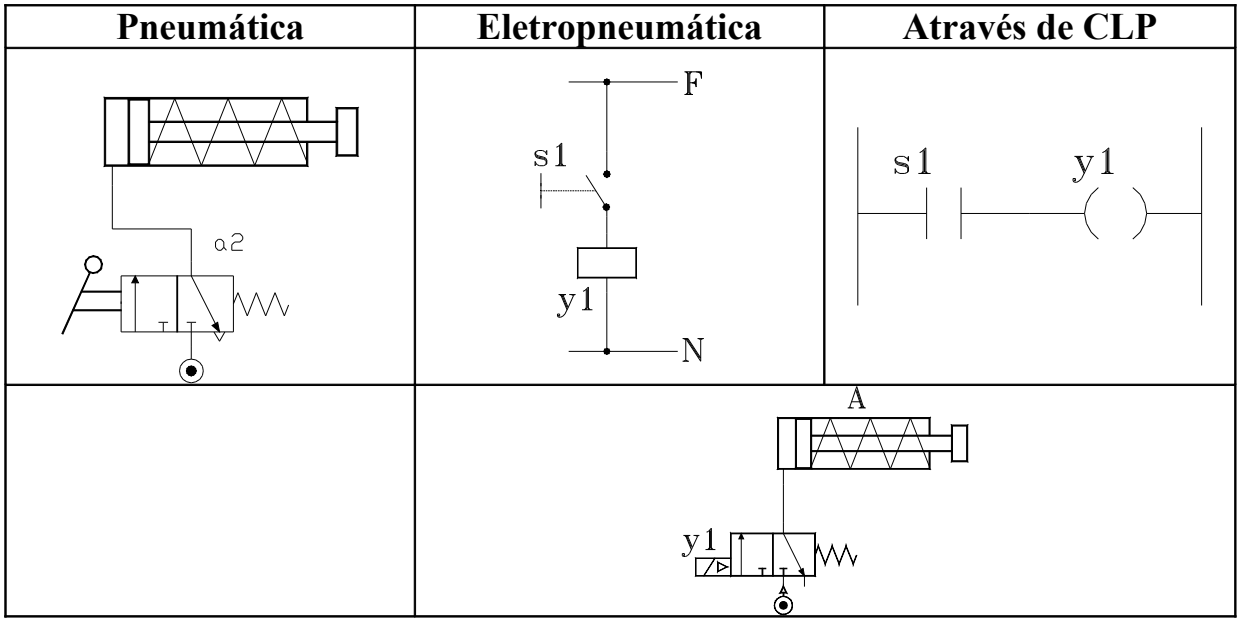
Comandos eletropneumáticos caracterizam–se por empregar, além dos anteriores, componentes elétricos como chaves, relés e sensores para a emissão de sinais, processamento e comando.

Comandos pneutrônicos caracterizam–se por empregar microcontroladores, microprocessadores, controladores lógicos programáveis e microcomputadores para o processamento dos sinais, além dos componentes elétricos já citados.

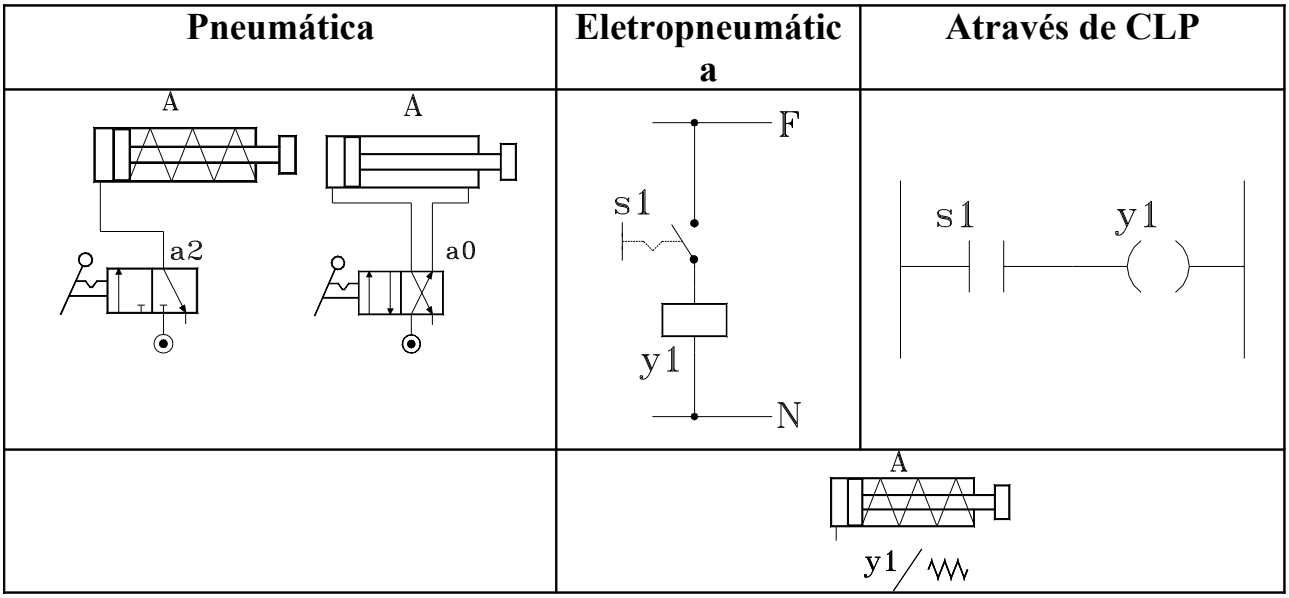
BOLLMANN (1997) também classifica os comandos pneumáticos binários em combinacionais e seqüenciais. O primeiro caracteriza–se por ter o sinal de saída em função de uma combinação lógica dos sinais de entrada, enquanto o segundo ativa seqüencialmente diversos sinais de saídas, em função de uma seqüência programada de trajetória ou de tempo.

3.2 Comandos básicos

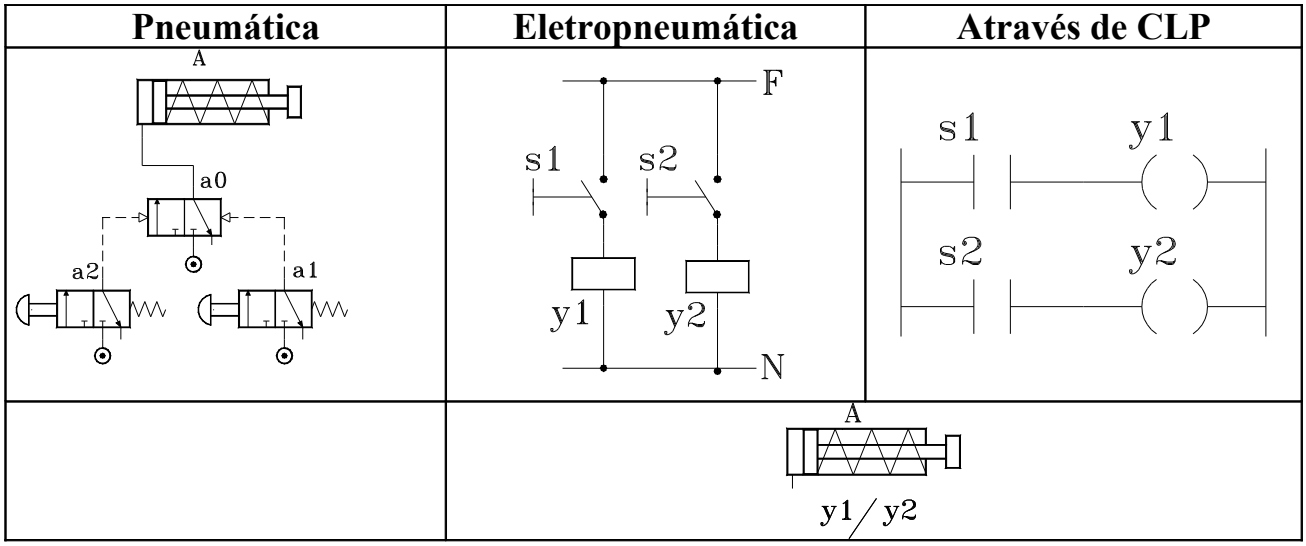
a. Acionamento manual de um cilindro de simples efeito, através de válvula 3/2 - alavanca / mola (ou uma chave tipo impulso). O cilindro A avança ao ser acionada a alavanca da válvula a2 (ou a chave S1). Liberada a alavanca, a válvula é reposta pela mola e o pistão retorna.



b. Acionamento manual um cilindro através de válvula com retenção do sinal. O cilindro A avança ao ser acionada a alavanca da válvula a2 e só retorna após a liberação desta.

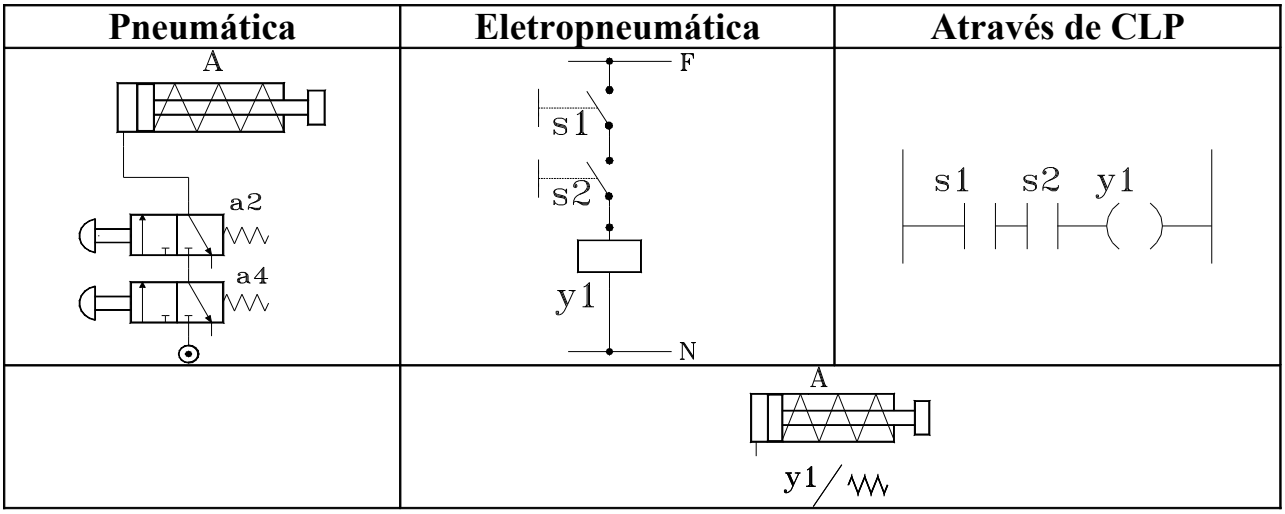


c. Acionamento de um cilindro S.E., com comando de avanço e retorno de dois pontos distintos. O cilindro **A** avança ao ser acionada a válvula a2 e assim permanece após a liberação desta. Só retorna com o acionamento da válvula a1.

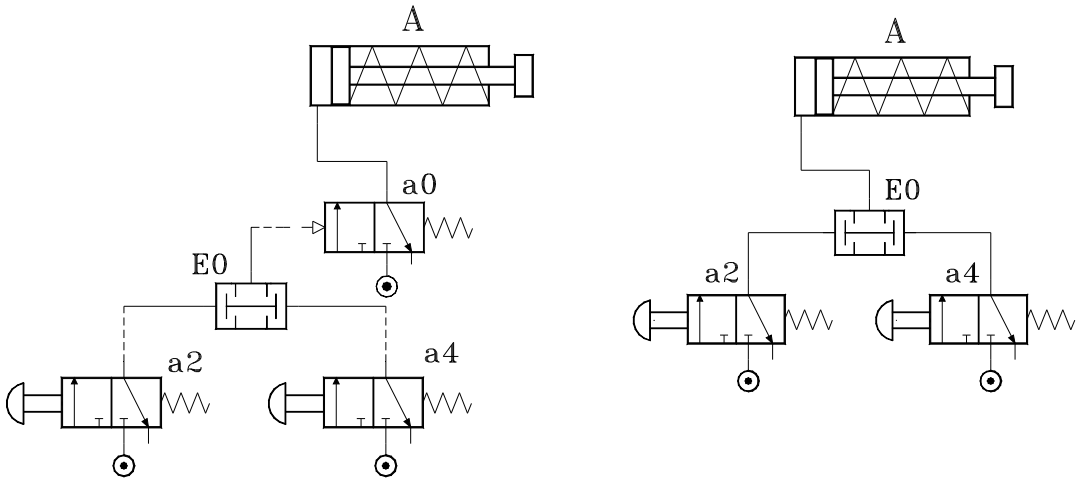


d. Acionamento de um cilindro simples efeito, através de duas válvulas em série. (função "E")

O cilindro **A** avança se forem acionadas as válvulas a2 e a4. O retorno é feito após a liberação de qualquer uma delas.

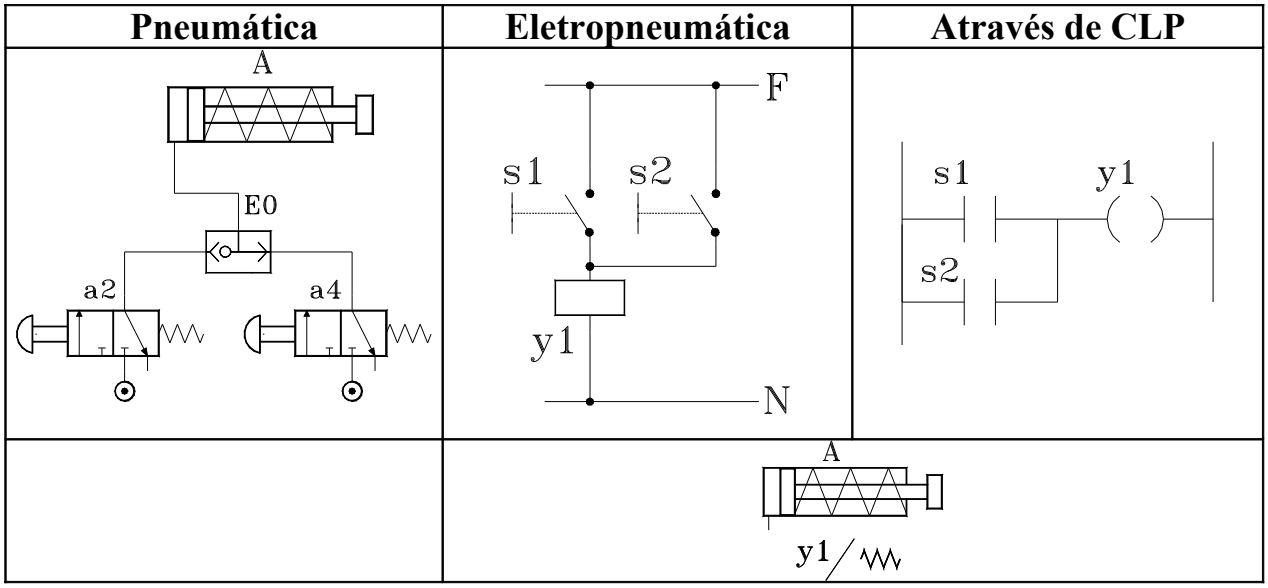


A mesma solução usando pneumática (com válvula de simultaneidade – E)

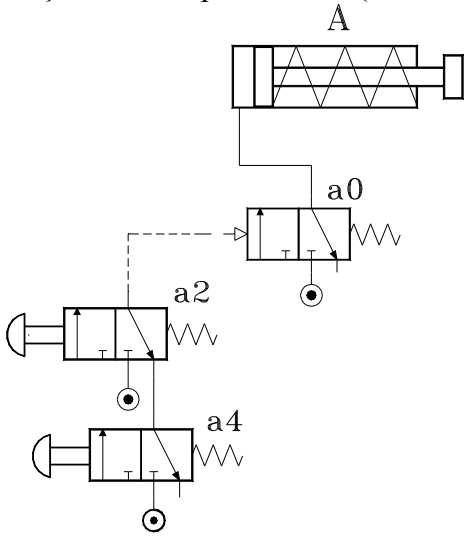


com válvula de comando **sem válvula de comando**

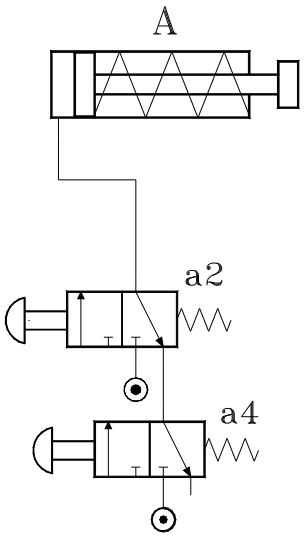
e. Acionamento de um cilindro S.E., com comando de avanço de dois pontos distintos (função "OU", através de duas válvulas em paralelo). O cilindro **A** avança se for acionada a válvula a2 ou a válvula a4. O retorno é feito após a liberação de qualquer uma delas**.**



A mesma solução usando pneumática (somente com válvulas direcionais)



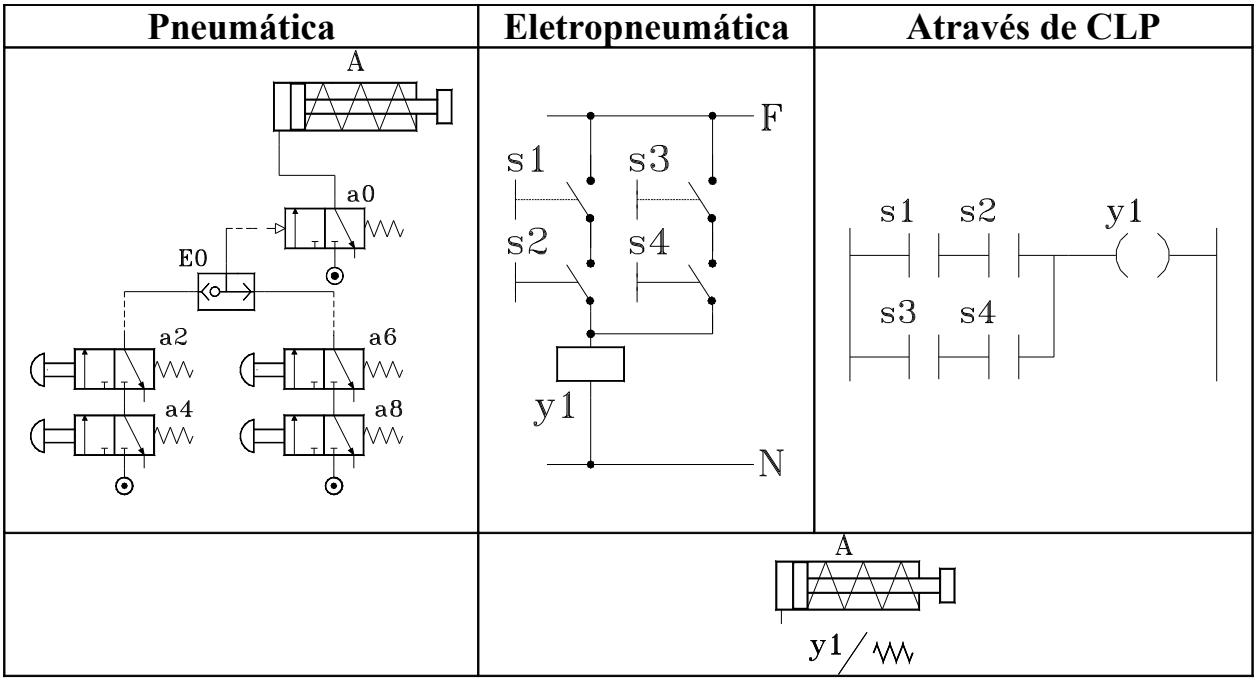
com válvula de comando



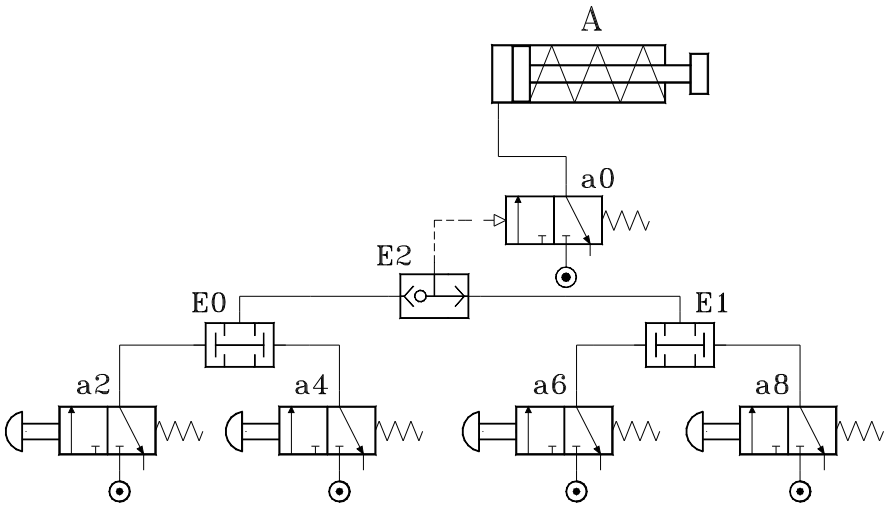
sem válvula de comando

f. Acionamento de um cilindro S.E., através de um sistema série e paralelo.

O cilindro **A** avança se forem acionadas simultaneamente as válvulas a2 e a4 ou a6 e a8. O retorno é feito após a liberação de qualquer uma delas.

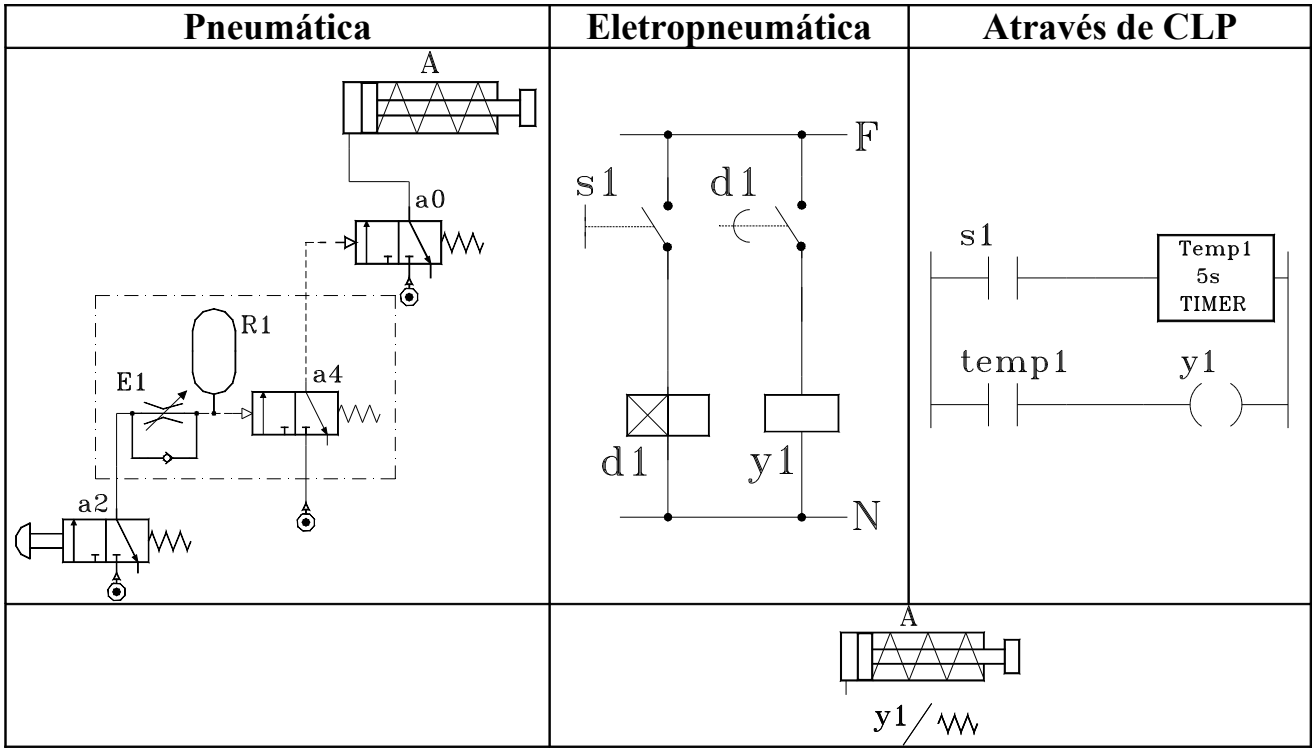


A mesma solução com pneumática, porém usando válvula de simultaneidade (E)

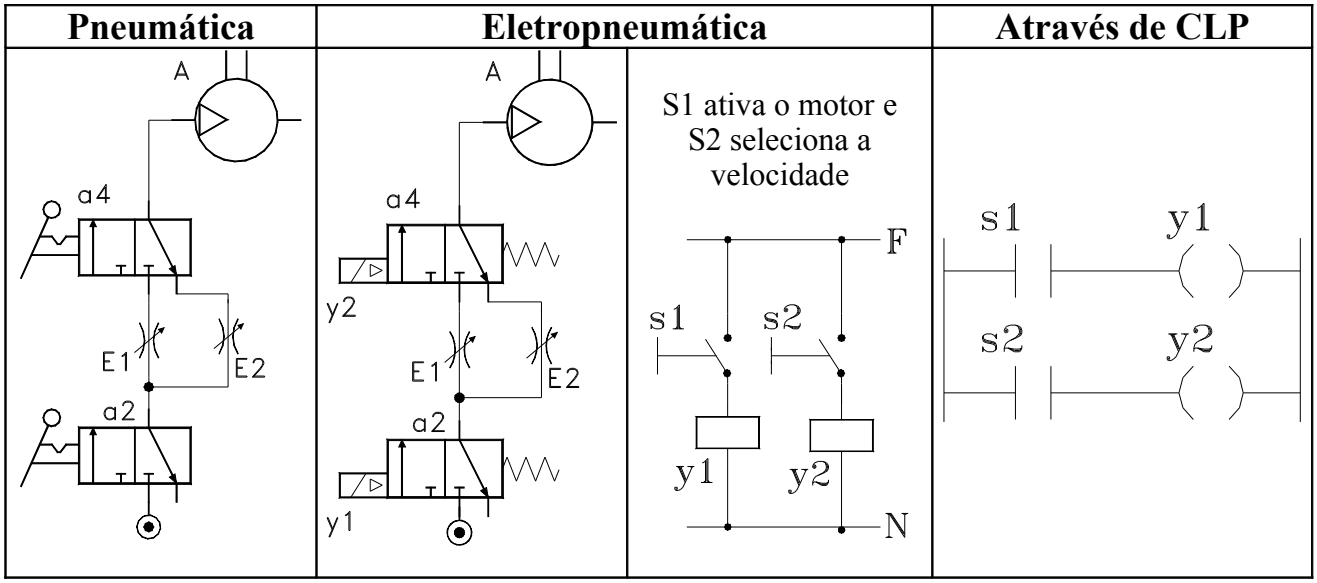


g. Acionamento de um cilindro S.E., com temporização no comando de avanço.

O cilindro **A** avança algum tempo depois de ser acionada a válvula a2. Isto se dá porque o sinal saído de a2 passa pelo temporizador (composto pelas válvulas E1 e a4 e pelo reservatório R1) e é por este retardado. O tempo é fortemente influenciado pela variação da pressão. Com eletropneumática emprega–se um relé de tempo ou um bloco temporizador de um CLP, consideravelmente mais precisos.



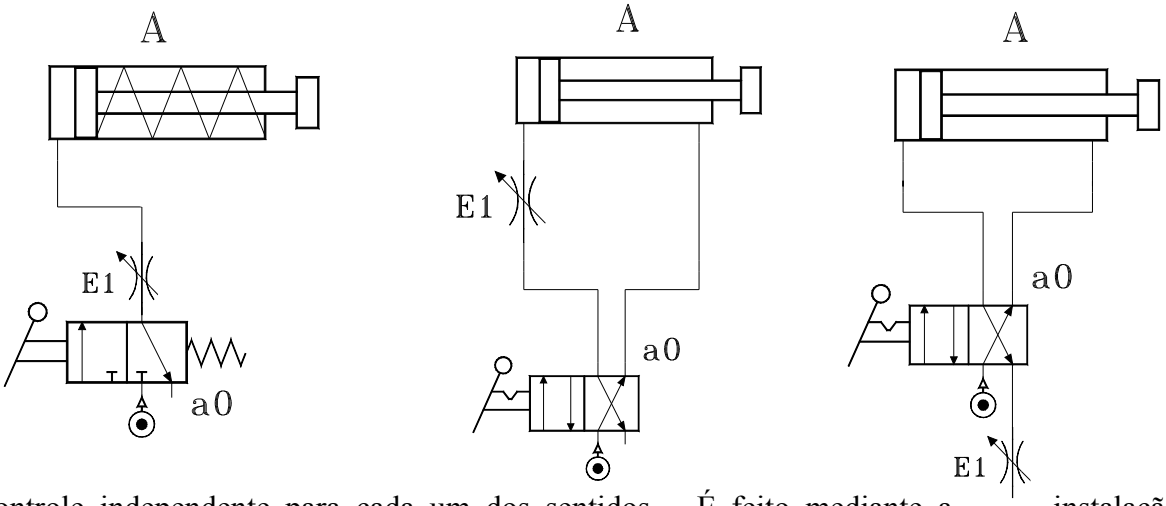
h. Acionamento de um motor pneumático com opção para duas velocidades, selecionadas através de uma válvula 3/2 alavanca trava (a4).



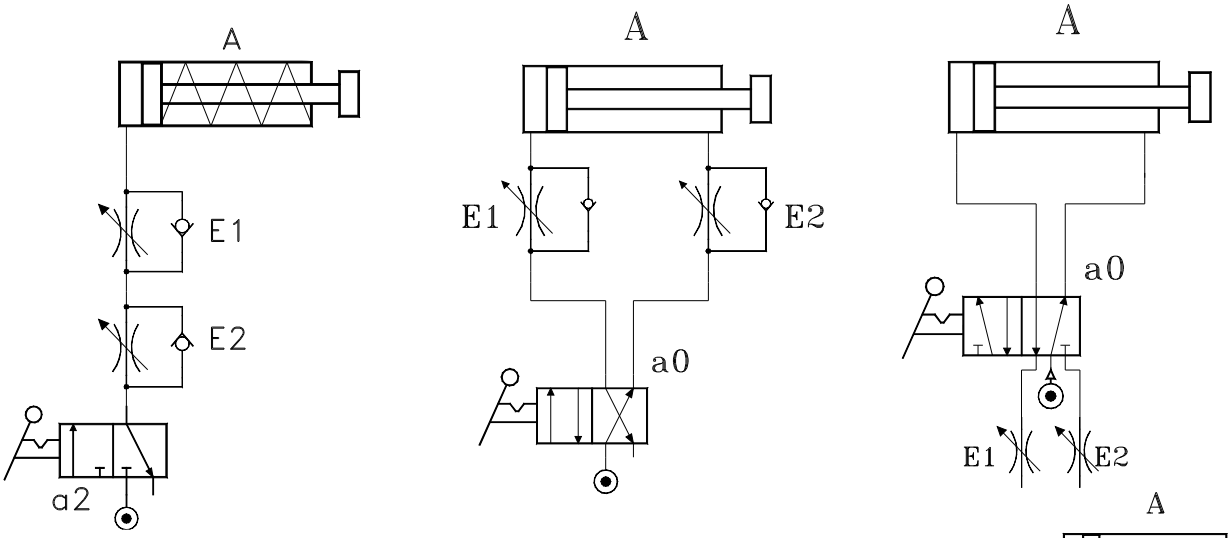
i. Controle de velocidade de cilindros pneumáticos e hidráulicos.

Acionamento de cilindros S.E. e D.E., através de válvulas 3/2 e 4/2, respectivamente, com velocidades de avanço e/ou de retorno controladas. Para circuitos pneumáticos deve-se fazer o controle de velocidade pelo ar exaustão, sempre que possível.

Controle único para os dois sentidos – Com uma válvula bidirecional colocada entre o cilindro e a válvula direcional (ou no escape desta) é feito o controle tanto da velocidade de avanço quanto da velocidade de retorno. Nos circuitos pneumáticos é preferível fazer tal controle através do ar de escape (o ar que está saindo do cilindro), pois de outra forma o deslocamento do cilindro pode se dar aos trancos.

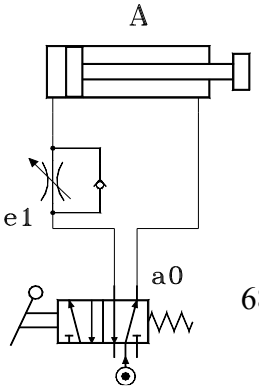


Controle independente para cada um dos sentidos – É feito mediante a instalação de duas válvulas unidirecionais colocadas entre o cilindro e a válvula direcional (ou bidirecionais nos escapes desta, se de 5 vias). Dessa forma, cada válvula controla independentemente a velocidade em um dos sentidos (avanço e retorno, respectivamente). Como o cilindro de simples efeito tem só uma via de alimentação (entrada e saída de fluido), o controle da velocidade de avanço tem que ser feito pelo fluido pressurizado que entra, podendo haver alteração da velocidade deste em função da carga, (deslocamento aos trancos anteriormente citado).



Nos casos acima, E1 controla a velocidade de retorno e E2 a de avanço.

Para circuitos hidráulicos o controle de velocidade deve ser feito considerando dois casos:

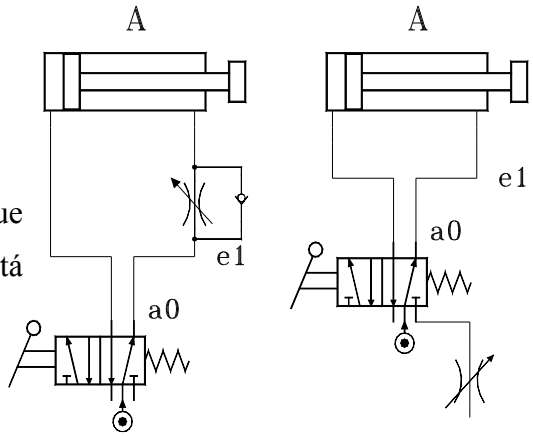


a. A carga se opõe ao movimento do êmbolo.

Deve-se fazer o controle de fluxo do fluido pressurizado (o que entra no cilindro). A vantagem nesse caso é que após a reguladora de fluxo a pressão disponível é apenas para o trabalho e os atritos.

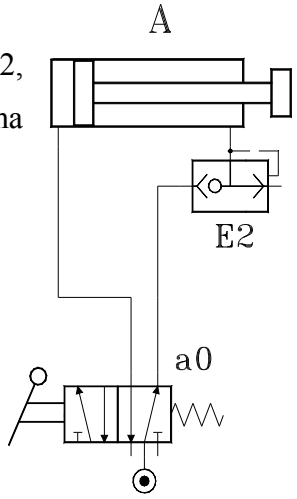
b. A carga se opõe ao movimento do êmbolo.

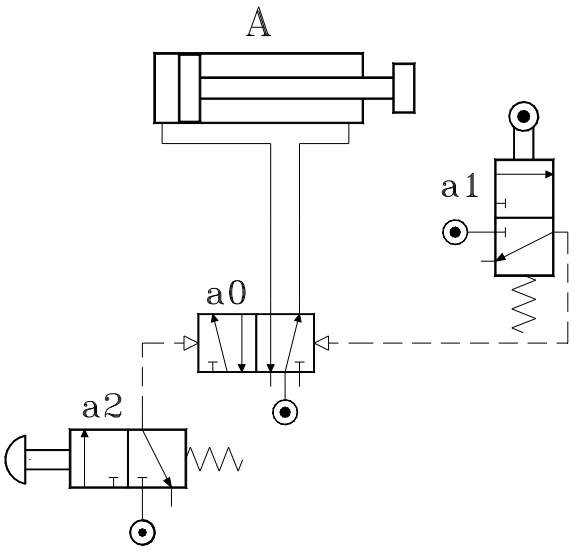
Deve-se fazer o controle de fluxo do fluido de exaustão (o que sai do cilindro). A vantagem nesse caso é que o pistão está sempre fixado hidraulicamente.



j. Acionamento de um cilindro D.E., com avanço rápido, através de uma válvula 5/2 alavanca mola. (uso de uma válvula de escape rápido).

O ar da câmara dianteira, através da válvula de escape rápido E2, rapidamente escapa para a atmosfera, o que possibilita ao cilindro uma velocidade maior do que se o escape se desse na válvula a0.



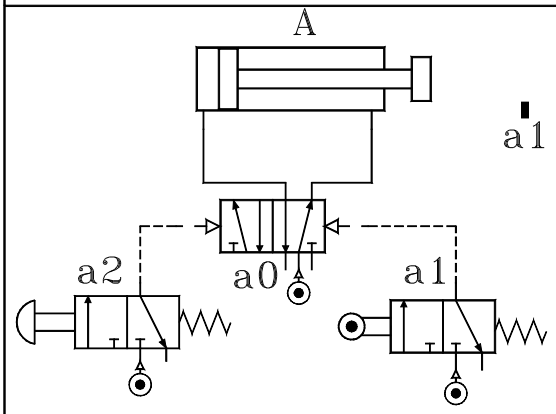
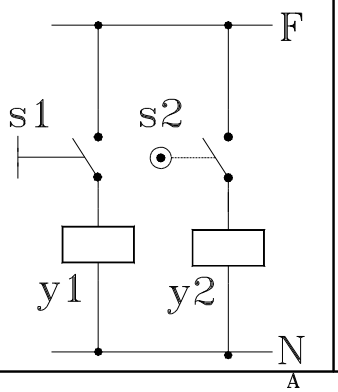
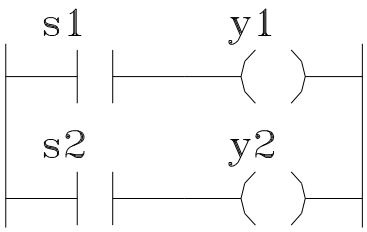
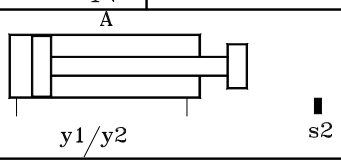


l. Acionamento de um cilindro D.E., com ciclo único.

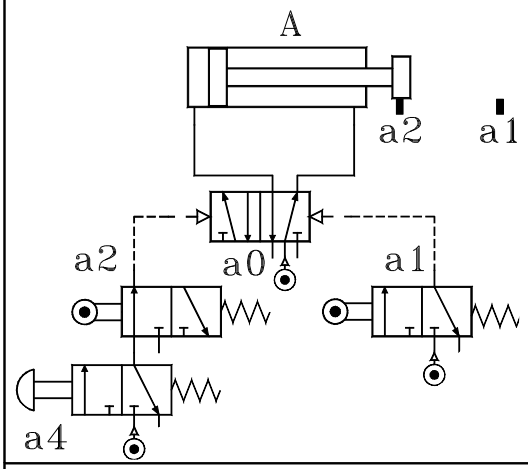
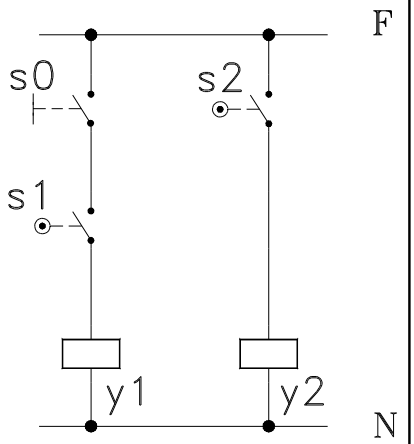
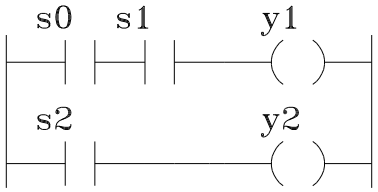
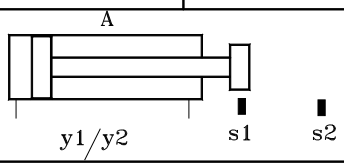
O cilindro **A** avança ao ser acionada a válvula a2. O

retorno se dá após a ponta da haste do cilindro acionar

a válvula de fim de curso a1.

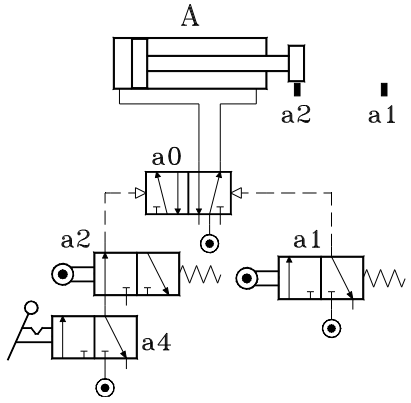
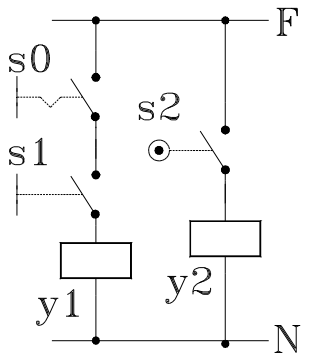
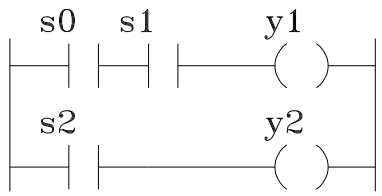
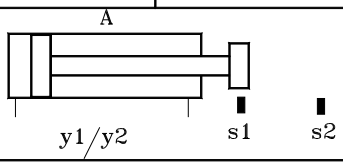
Pneumática	Eletropneumática	Através de CLP
		
obedecendo à estrutura dos circuitos		

O circuito acima pode ser também estruturado com mais um fim de curso (a2), de modo que o pistão sempre complete o ciclo, mesmo que a chave de partida a4 permaneça acionada.

Pneumática	Eletropneumática	Através de CLP
		
		

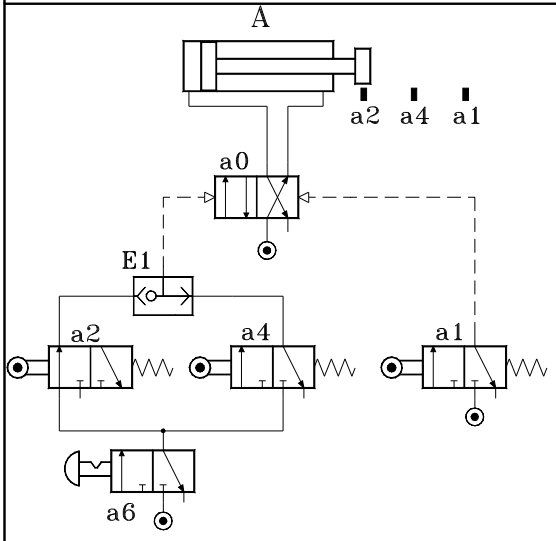
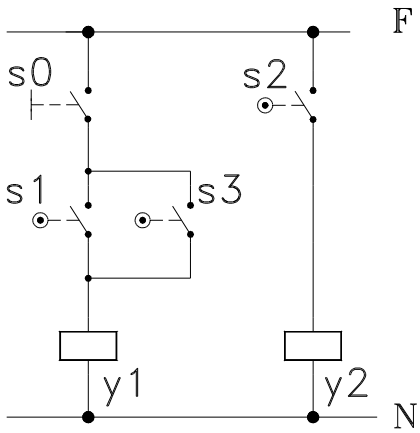
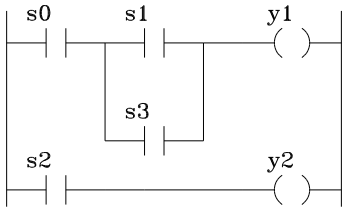
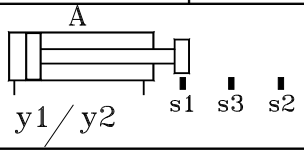
m. Acionamento de um cilindro D.E., com ciclo contínuo.

O cilindro **A** avança ao ser acionada a válvula a4, visto que a válvula a2 está acionada. O retorno se dá após a ponta da haste do cilindro acionar a válvula de fim de curso a1. No retorno do cilindro, a2 é novamente acionada, iniciando um novo ciclo. A parada é feita após a reposição de a4.

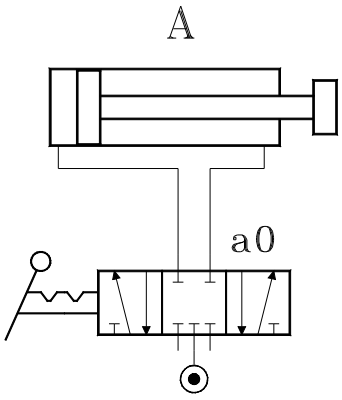
Pneumática	Eletropneumática	Através de CLP
		
		

n. Acionamento de um cilindro D.E., com ciclo contínuo e curso variável.

O cilindro **A** avança ao ser acionada a válvula a6, visto que o fim de curso a2 está acionado. Durante o trajeto aciona o fim de curso a4, que confirma o sinal em a0 e o cilindro continua a avançar. O retorno se dá após a ponta da haste do cilindro acionar a válvula de fim de curso a1. No retorno do cilindro, a4 é novamente acionado, iniciando um novo ciclo, com curso regulado entre a4 e a1. A parada é feita após a reposição de a6.

Pneumática	Eletropneumática	Através de CLP
		
		

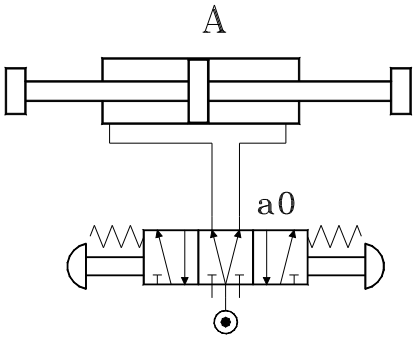
o. Acionamento de um cilindro D.E., com parada e retenção em qualquer posição, utilizando válvula 5/3-C.F., acionada por alavanca trava.



O pistão do cilindro **A** avança ao ser acionada a válvula a0 para a direita. Desacionada a0, se o cilindro for hidráulico, o pistão para na posição em que se encontrar, visto que a válvula tem centro fechado. O retorno se dá após a válvula ser acionada para o lado esquerdo. Durante o retorno, pode também o pistão ser parado em qualquer posição mediante a reposição de a0 à posição de origem (centro).

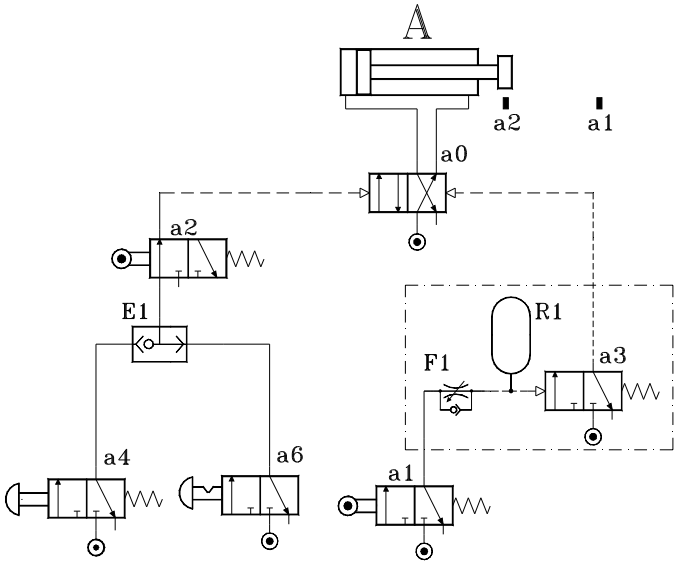
Em cilindros pneumáticos, mesmo a válvula tendo centro fechado, há um erro de posicionamento, visto que no movimento de avanço, a câmara traseira tem pressão maior que a câmara dianteira. Assim, a haste continua avançando e comprimindo o ar da câmara dianteira, até que as forças nos dois lados do pistão se equilibrem.

p. Acionamento de um cilindro D.E. de haste dupla, com parada e retenção em qualquer posição, utilizando válvula 5/3 C.A.P., acionada por botão - mola.



O cilindro **A** avança acionando-se a válvula a0 para a direita. Liberada a0 o cilindro para na posição em que se encontrar, visto que a válvula tem centro aberto positivo e pressuriza o cilindro igualmente em suas duas câmaras. O retorno se dá após a válvula ser acionada para o lado esquerdo. Durante o retorno, pode também o cilindro ser parado em qualquer posição, mediante a liberação de a0.

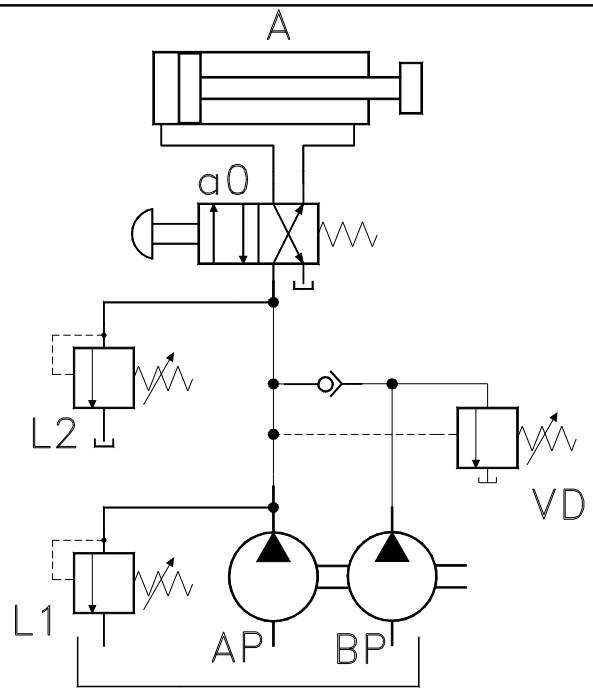
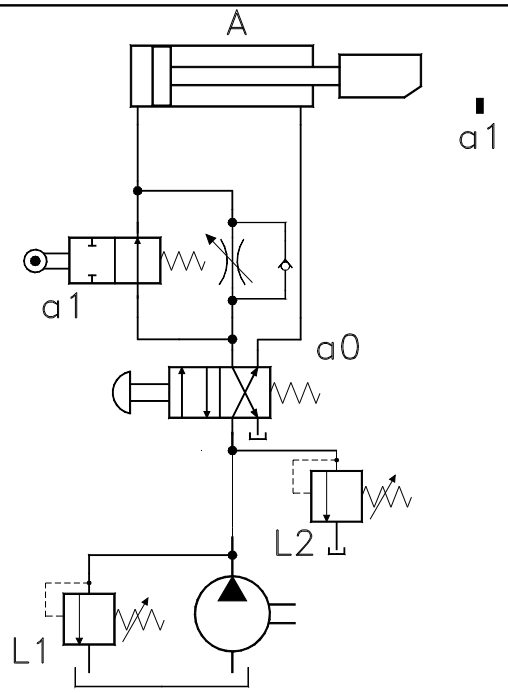
q. Acionamento de um cilindro D.E., com retorno temporizado e opção para ciclo único ou contínuo.



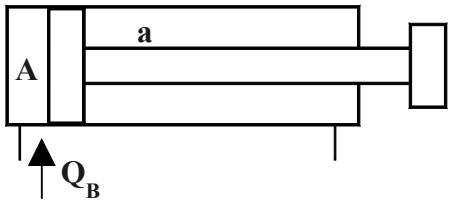
O cilindro **A** avança em ciclo único ao ser acionada a válvula a4, ou em ciclo contínuo se for a válvula a6, visto que a válvula a2 está acionada. Ao final do curso há o acionamento da válvula de fim de curso a1 pela haste do cilindro, ativando o temporizador, e o retorno se dá depois de decorrido o tempo ajustado na válvula controladora de fluxo F1.

3.3 Estratégias para aproximação rápida / Circuitos regenerativos.

Considerando as baixas velocidades dos atuadores hidráulicos, se comparadas com as dos pneumáticos, se faz necessário empregar algumas técnicas que permitam o deslocamento rápido dos êmbolos até a posição de trabalho, com a posterior redução da velocidade, para com isso aumentar a força. Mostraremos a seguir três das técnicas empregadas.

3.3.1 Emprego de bomba dupla e válvula de desconexão.	**3.3.2 Circuito com reguladora de fluxo acionada por rolete**
	
Enquanto o cilindro se desloca sem carga, a bomba BP de baixa pressão e alta vazão fornece o fluido necessário ao avanço rápido do pistão. Quanto o pistão encontra resistência (por ex. uma peça a ser trabalhada), a pressão aumenta e a bomba AP de alta pressão aciona a válvula de desconxão VD, desviando assim o fluxo da bombas BP para o tanque, o que provoca uma redução na velocidade de avanço do êmbolo, com o conseqüente aumento na força.	Durante o curso de avanço o óleo flui livremente pela válvula a1 até que esta seja acionada, quando então é desviado para a reguladora de fluxo, diminuindo assim a velocidade de avanço.

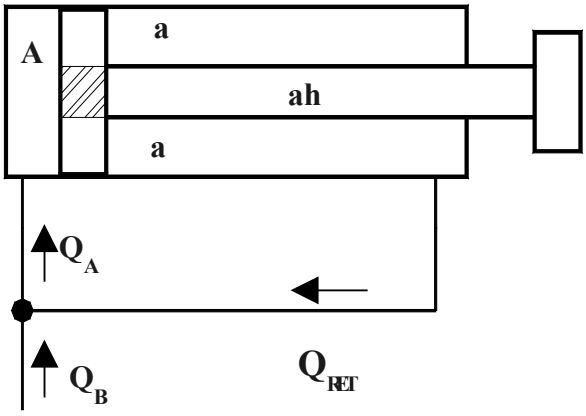
3.3.3 Circuitos Regenerativos



No acionamento de um cilindro de duplo efeito sabemos que a força de avanço $F_{AV} = P. A$, a força de retorno $F_{RET} = P . a$, a velocidade de avanço $V_{Av} = Q_B / A$ e a velocidade de retorno $V_{RET} = Q_B / a$, conforme a figura ao lado.

Um circuito regenerativo é empregado quando se deseja que o cilindro se desloque com uma velocidade maior que a normal, mas seja capaz de desenvolver a força necessária, quando solicitado. Para isso são usados cilindros com grande relação entre a área da haste e do êmbolo (um cilindro diferencial, por exemplo, onde A=2a), conforme o esquema abaixo.

Como a câmara traseira (área **A**) e dianteira (área **a**) têm comunicação, a pressão é a mesma nas duas e a força resultante será a pressão (P) vezes a área da haste (ah). Na câmara traseira a vazão (Q_A) é o somatório de Q_B e Q_{RET}.



Assim em um sistema regenerativo, para a força resultante F_R e a velocidade de avanço V_R, temos:

$F_R = F_{AV} – F_{RET} = P . A – P . a$

$F_R = P . (A–a)$; como $ah = A–a$;

$F_R = P . ah$;

$Q_A = Q_B + Q_{RET}$; (I)

$Q_A = V_R . A$ e $Q_{RET} = V_R . a$;

substituindo em (I)

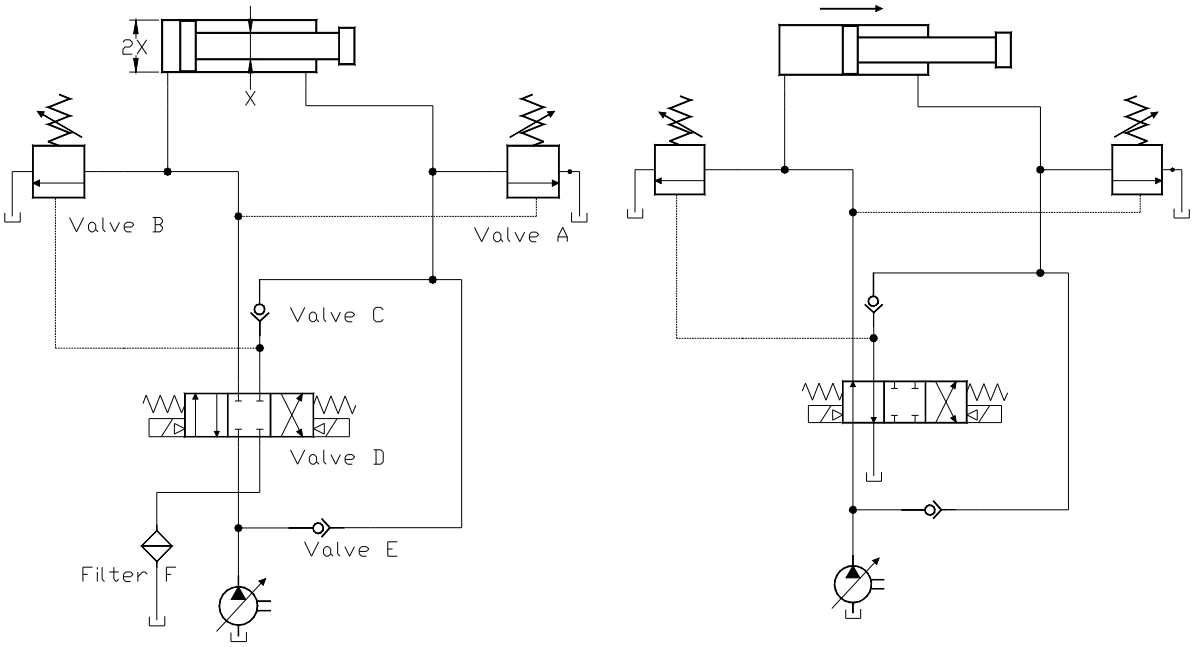
$V_R . A = Q_B + V_R . a \Rightarrow V_R = Q_B / ah$

Comparando com um circuito sem regeneração, temos:

$F_{AV} = P. A$ e $F_R = P . ah \Rightarrow F_R = F_{AV} . ah / A$;

$V_{Av} = Q_B / A$ e $V_R = Q_B / ah \Rightarrow V_{Av} . A = V_R . ah \Rightarrow V_R = V_{Av} . A / ah$

Na figura abaixo um exemplo de implementação de um circuito regenerativo



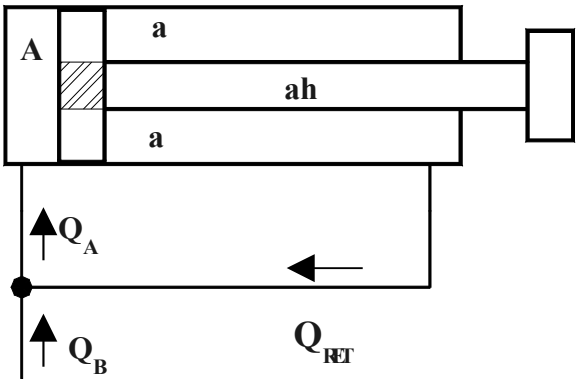
Exercício:

1. Em um circuito com os dados abaixo, calcule a velocidade e a força de avanço do cilindro, considerando o sistema com e sem regeneração.

Área do cilindro (A): 78,5 cm^2; Área da haste (ah): 4,9 cm^2;

Vazão da bomba (Q_B): 60 l/min; Pressão (P): 40 kgf/cm^2;

Curso: 400 mm



a. Sem regeneração

$F_{AV} = P . A$ $V_{Av} = Q_B / A$

$F_{AV} = 40 \times 78,5$ $V_{Av} = 60 \times 1000 / 78,5$

$F_{AV} = 3.140$ kgf $V_{Av} = 764,33$ cm/min

$V_{Av} = 7,64$ m/min

b. Com regeneração

$F_R = P . ah$ $V_R = Q_B / ah$

$F_R = 40 \times 4,9$ $V_R = 60 \times 1000 / 4,9$

$F_R = 196$ kgf $V_R = 12.244,8$ cm/min

$V_R = 122,4$ m/min

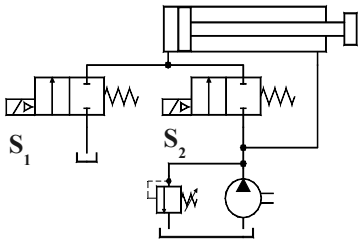
Podemos chegar ao mesmo resultado usando $V_R = V_{Av} . A / ah$

$V_R = 7,64 \times 78,5 / 4,9$

$V_R = 122,4$ m/min

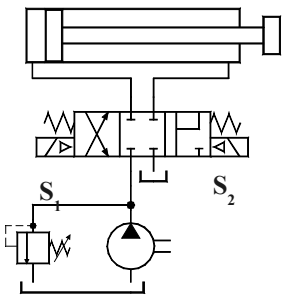
2. Dados os circuitos regenerativos abaixo, complete a tabela.

1



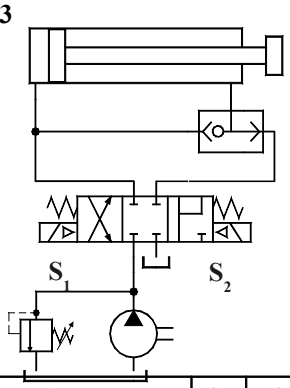
Atuador	S_1	S_2
Avanço com força		
Avanço c/ regeneração		X
Retorno	X	
Parada em qualquer posição		

2



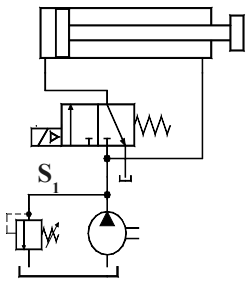
Atuador	S_1	S_2
Avanço com força		
Avanço c/ regeneração		
Retorno		

3



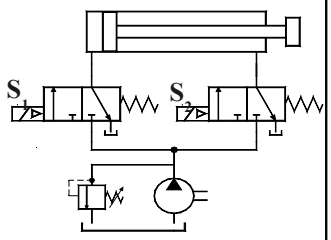
Atuador	S_1	S_2
Avanço com força		
Avanço c/ regeneração		
Retorno		
Parada em qualquer posição		

4



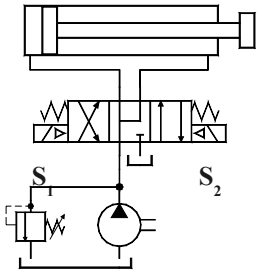
Atuador	S_1
Avanço com força	
Avanço c/ regeneração	
Retorno	
Parada em qualquer posição	

5



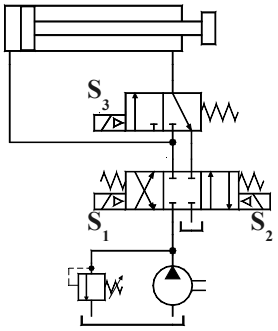
Atuador	S_1	S_2
Avanço com força		
Avanço c/ regeneração		X
Retorno	X	
Parada em qualquer posição		

6



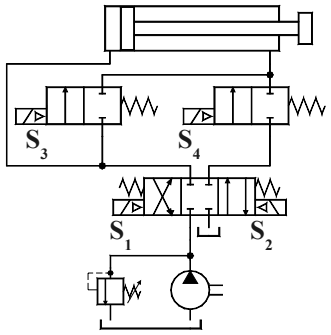
Atuador	S_1	S_2
Avanço com força		
Avanço c/ regeneração		
Retorno		
Parada em qualquer posição		

7

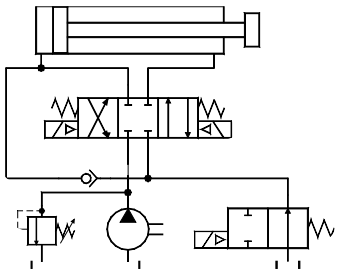


Atuador	S_1	S_2	S_3
Avanço com força			
Avanço c/ regeneração			
Retorno			
Parada em qualquer posição			

8

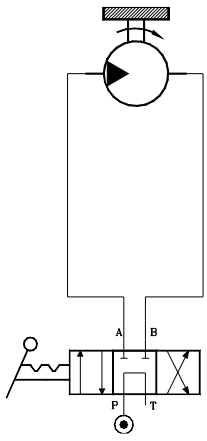


Atuador	S_1	S_2	S_3	S_4
Avanço com força				
Avanço c/ regeneração				
Retorno				
Parada em qualquer posição				

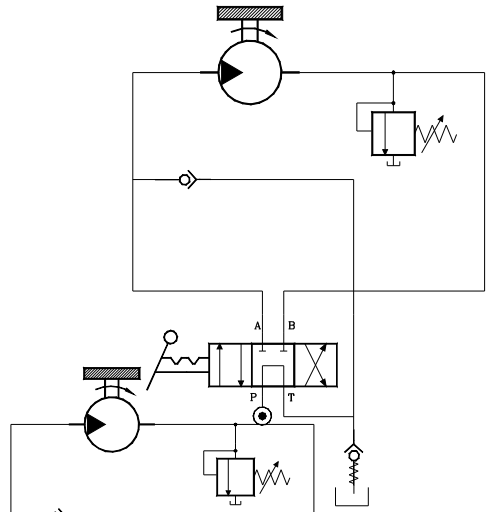
9				10				11				12			
															
Atuador	**S_1**	**S_2**	**S_3**	**Atuador**	**S_1**	**S_2**	**S_3**	**Atuador**	**S_1**	**S_2**	**S_3**	**Atuador**	**S_1**	**S_2**	**S_3**
Avanço com força		**3.3.3.1.1**		**Avanço com força**				**Avanço com força**				**Avanço com força**			
Avanço c/ regeneração				**Avanço c/ regeneração**				**Avanço c/ regeneração**				**Avanço c/ regeneração**			
Retorno				**Retorno**				**Retorno**				**Retorno**			
Parada em qualquer posição				**Parada em qualquer posição**				**Parada em qualquer posição**				**Parada em qualquer posição**			

3.4 Circuitos com Motores

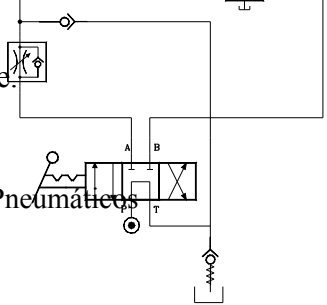
a. Circuito sem controle de velocidade ou parada.



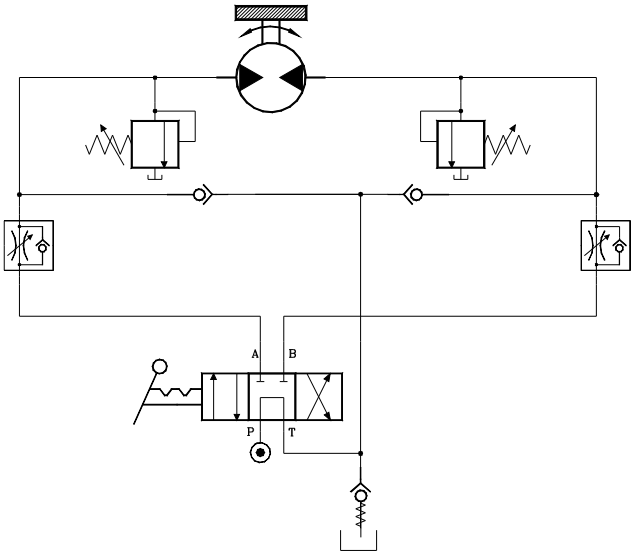
b. Circuito com controle de parada.



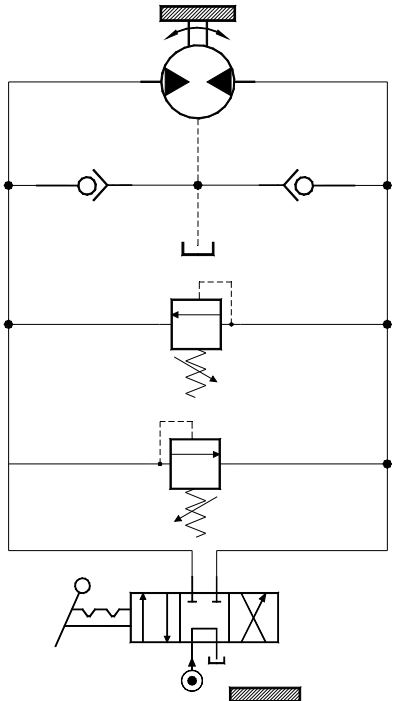
c. Circuito com controle de parada e de velocidade.



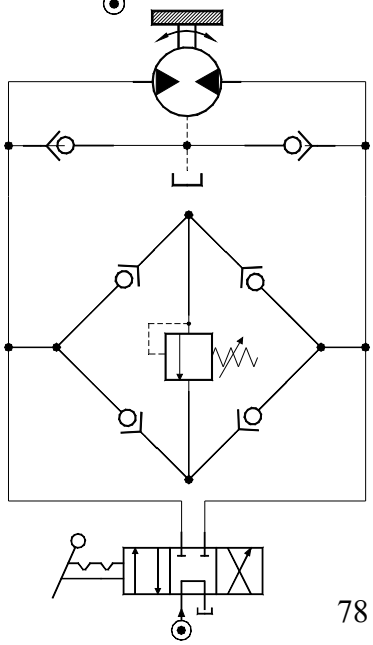
d. Circuito com controle de parada e de velocidade para motores com dois sentidos de rotação.



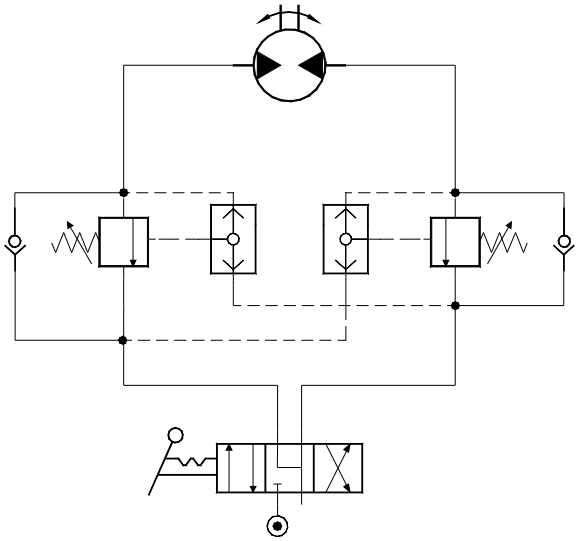
e. Outra configuração, sem controle de velocidade.



f. Circuito com controle de parada para motores com dois sentidos de rotação, empregando um retificador hidráulico.



g. Circuito com controle de parada para motores com dois sentidos de rotação, empregando válvulas limitadoras de pressão com controle remoto.



3.5 Circuitos em série

Os circuitos em série são empregados em acionamentos sincronizados, nos quais os cilindros têm os mesmos cursos e devem desenvolver a mesma força, o que implica que tenham a mesma velocidade.

Como pode ser visto na Fig. 1, os três cilindros devem levantar a carga de forma equilibrada, com cada um deles levantando uma carga de 9.000 kgf (F/3). Para tanto a velocidade de subida dos êmbolos deve ser a mesma, o que é conseguido fazendo a área do lado da haste do cilindro 1 "a_1" igual a área "A_2" do cilindro 2, e assim por diante.

Ou seja: **$a_1 = A_2$ e $a_2 = A_3$. (Eq.1)**

Assim, os volume nas diversas câmaras serão:

$V_1 = A_1 L$; (Eq.2)

$V_2 = A_2 L = a_1 L$; (Eq.3)

$V_3 = A_3 L = a_2 L$; (Eq.4)

$V_4 = a_3 L$; (Eq.5)

Quanto à pressão, considerando que, quando se têm resistências hidráulicas em série estas são somadas, temos:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} + \frac{F_2}{A_2} + \frac{F_3}{A_3}; \quad \text{(Eq.6)}$$

Como $F_1 = F_2 = F_3 = \frac{F}{3}$, temos (Eq.7)

$$P_1 = \frac{F}{3}\left[\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3}\right]; \quad \text{(Eq. 8)}$$

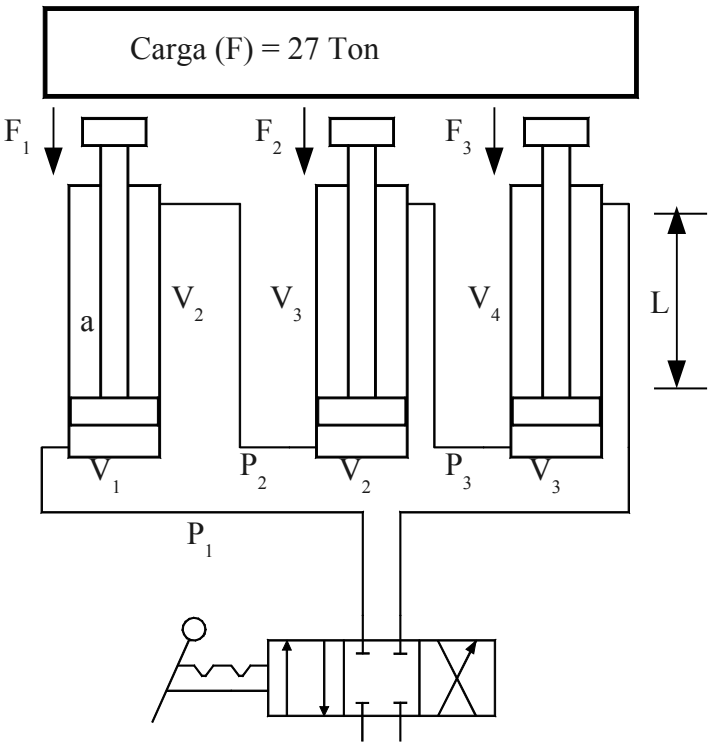


Fig. 1 - Circuito em Série com movimento sincronizado.

Considerando as equações 1 e 8, observa-se um crescimento exagerado da pressão, com uma significativa redução de diâmetros, o que nos leva a concluir ser impraticável usar circuitos em série com mais de três cilindros.

Supondo que no circuito da Fig. 1 os cilindros tem curso (L) de 400 mm e a relação (r) A/a é 1,25, vamos dimensionar os diâmetros dos cilindros e das hastes e calcular a vazão (l/min) e a potência (kw) da bomba para que a carga (F) seja erguida em 20 s.

Podemos iniciar escolhendo o diâmetro do cilindro3 (menor diâmetro) e a partir daí calcular os outros valores. Nesse caso deve-se ter o cuidado de escolher um diâmetro comercial pequeno, como forma de evitar que o diâmetro do cilindro1 seja muito grande.

Outro modo é iniciar o dimensionamento escolhendo o diâmetro do cilindro1, devendo ter o cuidado de não usar um diâmetro comercial muito pequeno, como forma de evitar um diâmetro muito pequeno para o cilindro3. Vamos usar esta última forma e escolher o cilindro1 com diâmetro de 250 mm. Assim teremos:

$A1 = \pi\, D12/4 = \pi\, (25)^2/4 = 490{,}625\ cm^2$

$a1=A2 = 490{,}625/1{,}25 = 392{,}50\ cm^2 \quad \Rightarrow dh1 = 11{,}18\ cm\ ; \quad D2 = 22{,}36\ cm$

$a2 = A3 = 392{,}50/1{,}25 = 314\ cm2 \Rightarrow dh2 = 10\ cm\ ; D3 = 20\ cm$

$a3 = A3/1{,}25 = 314/1{,}25 = 251{,}2\ cm^2 \quad \Rightarrow dh3 = 8{,}94\ cm$

Vale observar que os cilindros comerciais não são vendidos com tais dimensões. Conseqüentemente serão feitos sob encomenda, o que aumentará seus custos sensivelmente.

O volume de óleo em cada cilindro é dado por:

$V1 = A1.\ L = 490{,}625.\ 40 = 19.625\ cm^3 \quad \Rightarrow \quad V1 = 19{,}625\ l$

$V2 = A2.\ L = 392{,}50.\ 40 = 15.700\ cm^3 \quad \Rightarrow \quad V2 = 15{,}7\ l$

$V3 = A3.\ L = 314.\ 40 = 12.560\ cm^3 \quad \Rightarrow \quad V3 = 12{,}56\ l$

A vazão (Q) necessária a bomba é dada por:

$Q = V1\ (vol.\ do\ cil.\ maior\ )/t = (19{,}625)/(20/60) \quad \Rightarrow \quad Q = 58{,}875\ l/min$

A pressão total será:

$$P_1 = \frac{F}{3}\left[\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3}\right] = \frac{27000}{3}\left[\frac{1}{490{,}625} + \frac{1}{392{,}50} + \frac{1}{314}\right] \quad \Rightarrow \quad P1 = 69{,}93$$

kgf/cm^2

Considerando um rendimento (n) de 80%, a potência (Pot) da bomba (em kw) é dada por:

$$Pot = \frac{P \cdot Q}{611,8 \cdot n} = \frac{69,93 \cdot 58,875}{611,8 \cdot 0,8} \quad \Rightarrow \quad Pot = 8,41 \text{ kw}$$

Outro tipo de circuito em série é apresentado na Fig. 2. A diferença para o anterior reside no fato de que neste caso os atuadores podem ser acionados individualmente ou em conjunto, exceto o atuador A e o C sozinhos.

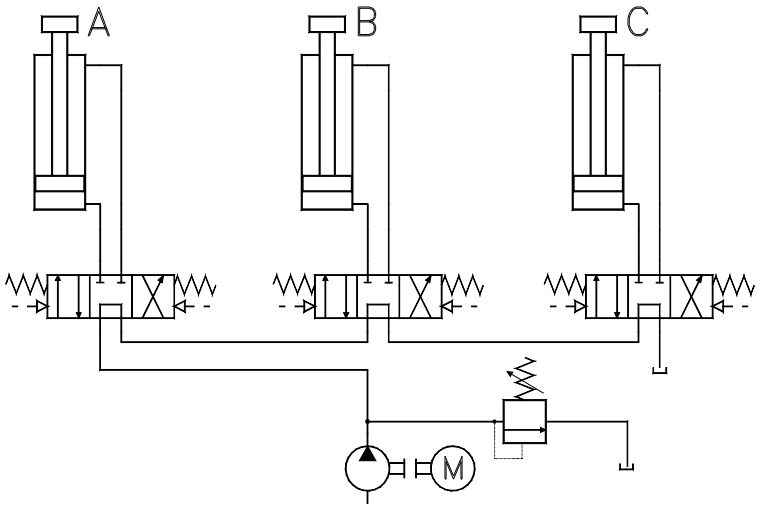
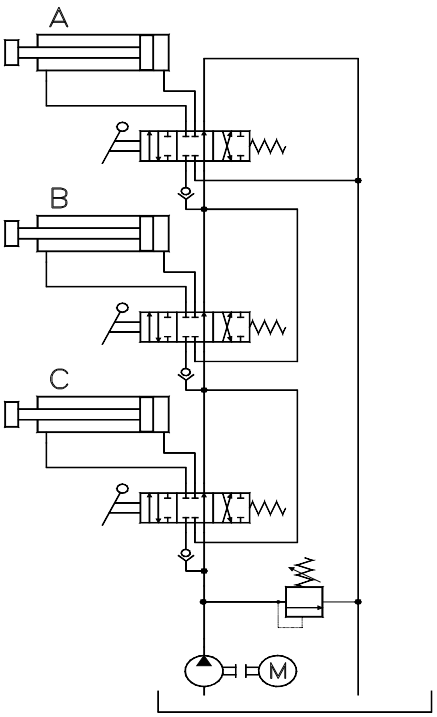


Fig. 2 - Circuito em Série



O circuito apresentado na Fig. 3 tem a mesma funcionalidade do anterior e difere daquele apenas nas válvulas de comando, que são de acionamento manual e com seis vias.

Fig. 3 - Circuito em série

Na Fig.4 temos um circuito em série acionando três motores hidráulicos de um sistema resfriamento de câmaras frigoríficas, permitindo três estágios diferentes para a temperatura.

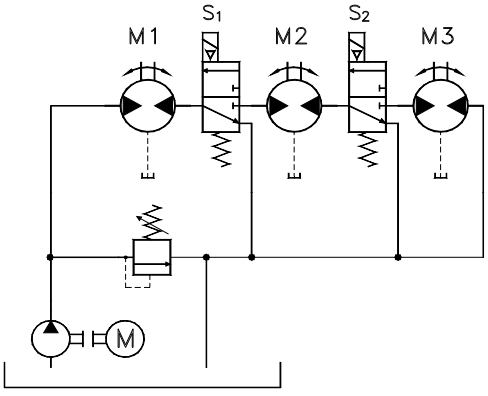


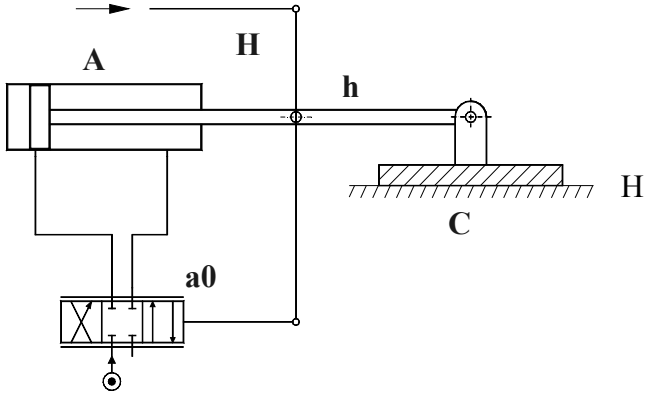
Fig. 4 - Circuito em Série de três motores hidráulicos.

3.6 Servosistemas Hidráulicos

Servosistemas são dispositivos de transmissão de forças usados para transformar sinais de baixa potência em força, com um alto grau de precisão no posicionamento, na velocidade ou em ambos.

3.6.1 Servomecanismo Hidráulico

A haste H ao ser movimentada para a direita produz um deslocamento do eixo da válvula a0 para a esquerda, abrindo passagem para o movimento do óleo para a câmara traseira do cilindro A, fazendo com que este avance, empurrando a carga C para a direita. Disso resulta que a haste é movimentada pela haste h do cilindro para a direita, repondo a válvula à posição central, parando o movimento.



3.6.2 Componentes:

Um servosistema é composto por diversos equipamentos entre os quais podemos destacar as servoválvulas (ou as válvulas proporcionais), os atuadores, os comparadores, os amplificadores e os sensores, cada um com uma função bem definida dentro do sistema.

VÁLVULAS PROPORCIONAIS

São válvulas que controlam a vazão ou a pressão de um sistema proporcionalmente a um dado valor de tensão elétrica de entrada.

Válvulas proporcionais de vazão

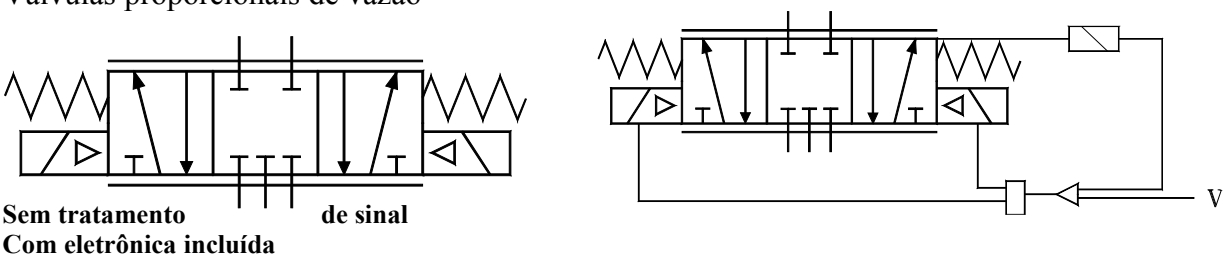


Figura 3.23 Válvulas proporcionais de vazão

Válvula proporcional de pressão

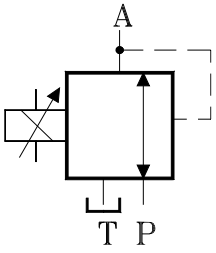
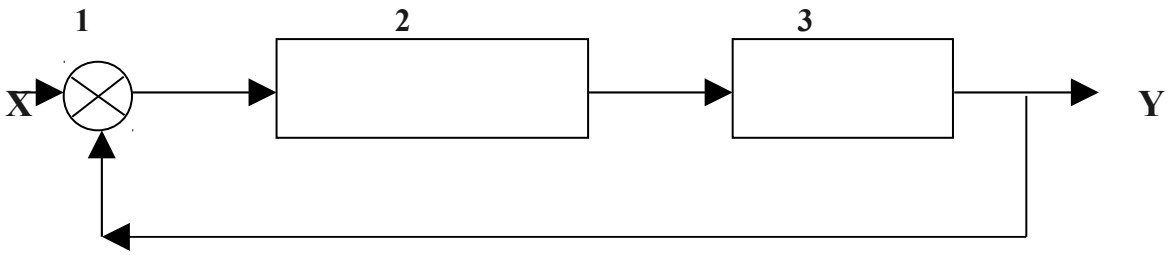


DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM SERVOSISTEMA:



1. COMPARADOR; 2. CONTROLADOR; 3. ATUADOR

CLASSIFICAÇÃO DAS VÁLVULAS, DE ACORDO COM A ATUAÇÃO:

VÁLVULAS DE REGULAGEM

VÁLVULAS DE COMANDO
(Direcionais tradicionais –ON/OFF)

VÁLVULAS CONTÍNUAS

SERVOVÁLVULAS
VÁLVULAS PROPORCIONAIS

PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE AS VÁLVULAS DE COMANDO (DIRECIONAIS TRADICIONAIS) E AS VÁLVULAS CONTÍNUAS.

CARACTERISTICAS	**VÁLVULAS DE COMANDO**	**VÁLVULAS CONTÍNUAS**
COMANDO ELÉTRICO	FUNÇÃO DEGRAU	CONFORME DESEJADO
CURSO DO CARRETEL	SOMENTE POSIÇÕES EXTREMAS	QUALQUER POSIÇÃO
VAZÃO	MÁXIMA	REGULÁVEL CONFORME DESEJADO

PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE AS SERVOVÁLVULAS E AS VÁLVULAS PROPORCIONAIS.

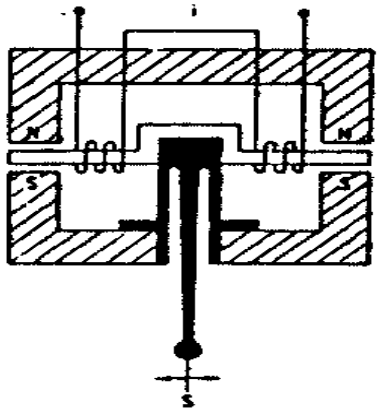
CARACTERISTICAS	**SERVO-VÁLVULAS**	**VÁLVULAS PROPORCIONAIS**
ACIONAMENTO	MOTOR DE TORQUE	SOLENÓIDE PROPORCIONAL
TEMPO DE ACIONAMENTO (ms)	< 30	>30
POTÊNCIA DE COMANDO (watt)	10^{-2} a 10^{0}	10^{1} a 10^{2}
CONSTRUÇÃO	SOFISTICADA	SIMPLES
APLICAÇÕES	EM CIRCUITOS DE ALTA RESPONSABILIDADE EM MALHA FECHADA	EM SUBSTITUIÇÃO A VAL. DIRECIONAIS ON/OFF E VÁL. REGULADORAS DE FLUXO E PRESSÃO.
RESISTÊNCIA	MAIS SENSÍVEL	MAIS ROBUSTA
CUSTO	ELEVADO	BAIXO

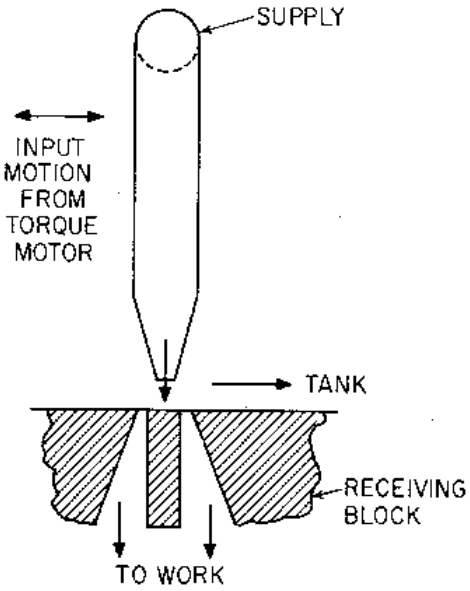
3.6.3 Acionamento das Servoválvulas.

As servo válvulas podem ser diretamente operadas ou providas de acionamento mecânico, pneumático, hidráulico ou elétrico, fazendo uso para isso de um Motor de Torque.

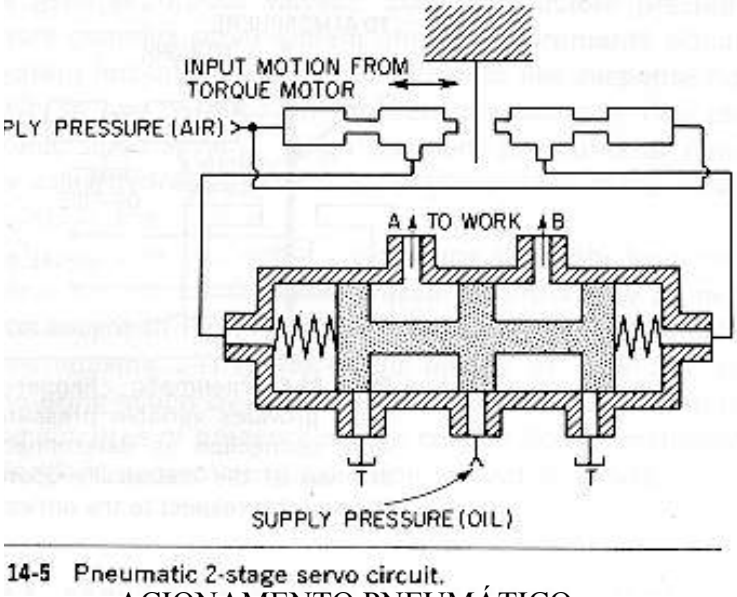
MOTOR DE TORQUE

O motor de torque tem dois enrolamentos dispostos na armadura, com molas de torção localizadas no campo magnético do imã permanente. Havendo corrente, a armadura é magnetizada. O torque resultante move a armadura contra a mola. O deslocamento da haste é proporcional a corrente.

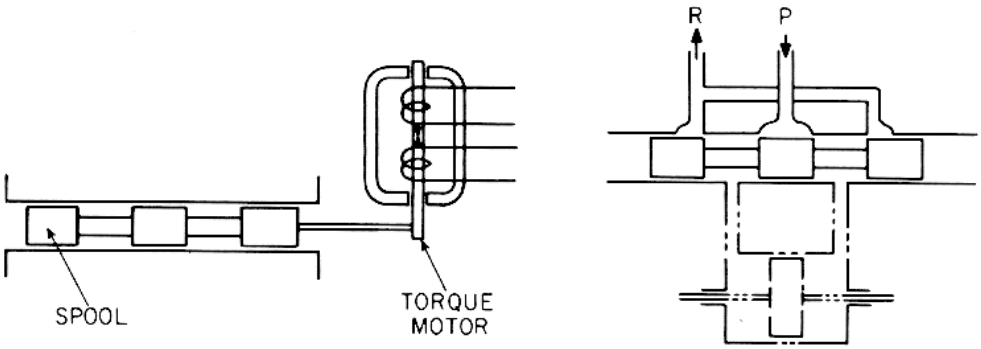




VALVULA DE BOCAL



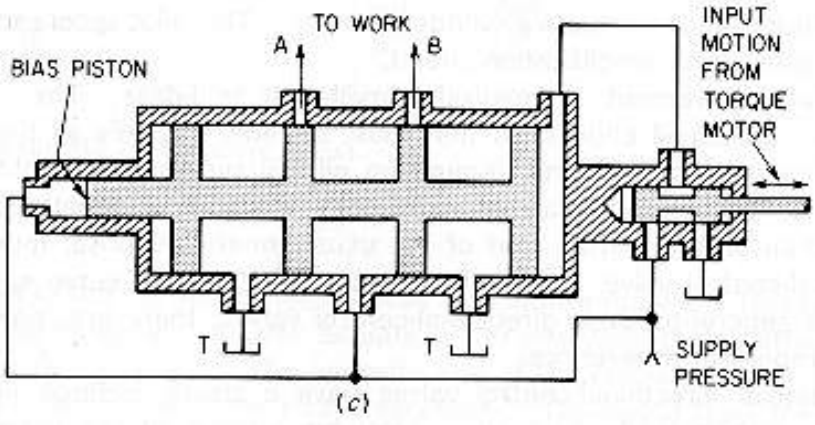
ACIONAMENTO PNEUMÁTICO



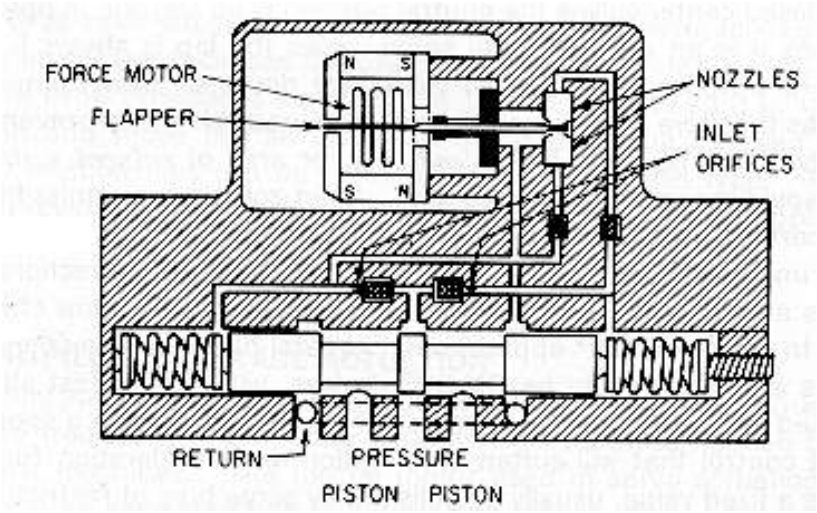
VÁLVULA DIRETAMENTE OPERADA PELO MOTOR DE TORQUE

ACIONAMENTO HIDRÁULICO

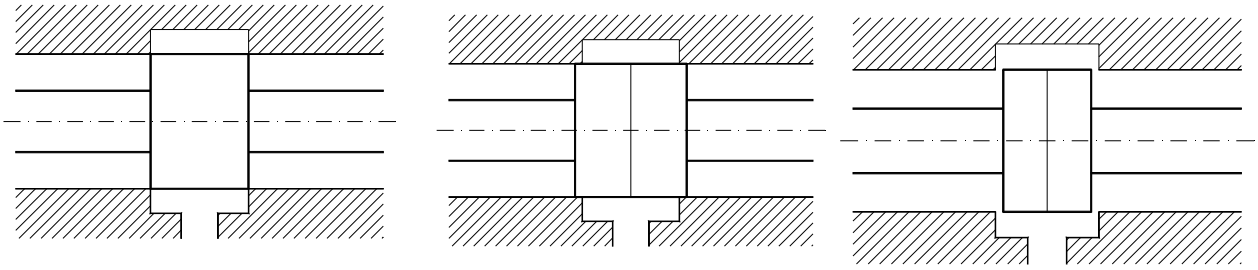
a. atuação por piloto hidráulico com 2 estágios.



b. atuação por piloto com válvula de bocal.



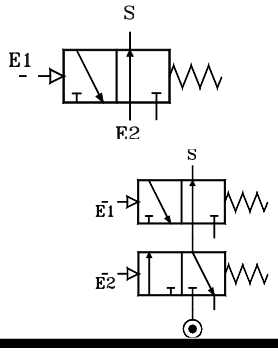
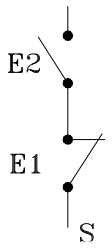
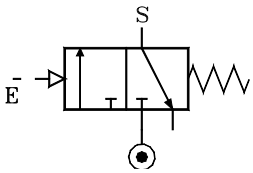
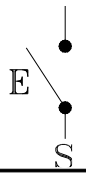
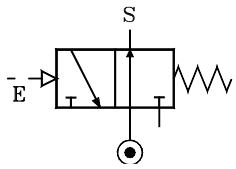
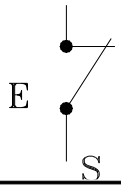
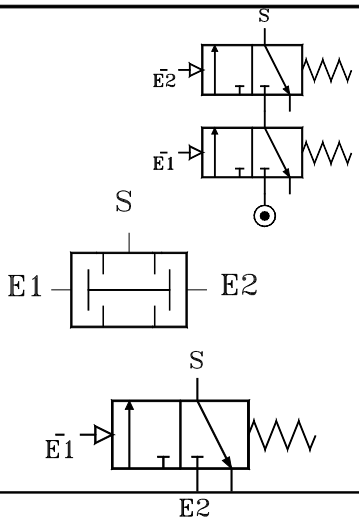
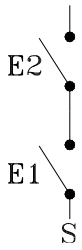
SOBREPOSIÇÃO

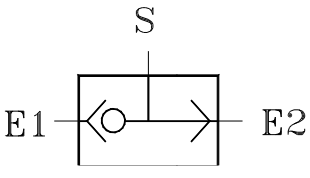
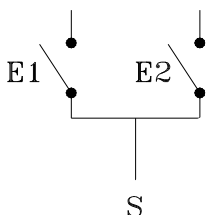


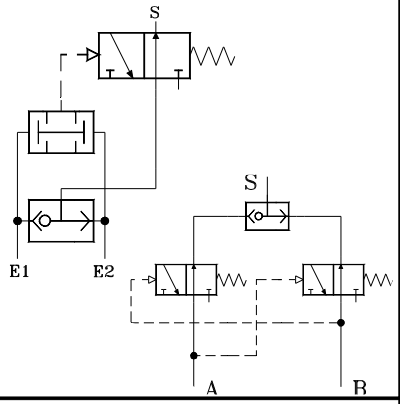
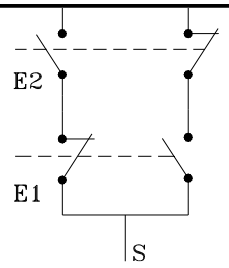
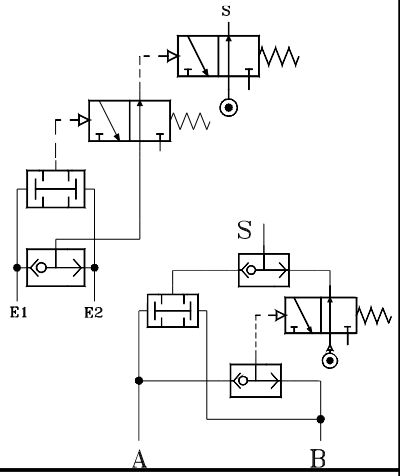
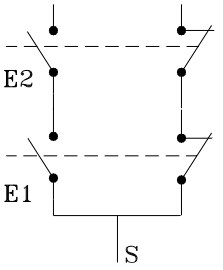
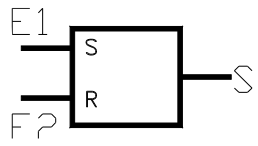
ZERO POSITIVA NEGATIVA

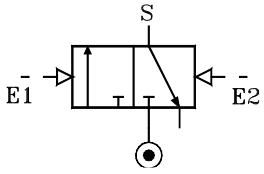
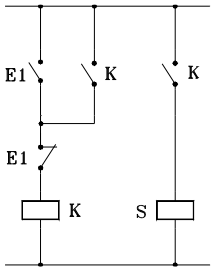
3.7 Circuitos Combinacionais

Os **comandos pneumáticos combinacionais** são estruturados e apoiados pela álgebra booleana, empregando para a execução das funções lógicas válvulas E, OU e direcionais 3/2 e 4/2, no caso de pneumática pura, ou de chaves elétricas ou lógicas, conforme o quadro seguinte.

Função Lógica	Tabela Verdade	Pneumática	Eletropneumática
Inibição S= $\overline{E1}$. E2	E1 E2 S 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0		
Identidade S = E	E S 0 0 1 1		
Negação S = $\overline{E}$	E S 0 1 1 0		
Conjunção (E) S = E1 . E2	E1 E2 S 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1		

Função Lógica	Tabela Verdade	Pneumática	Eletropneumática
Disjunção (OU) S = E1 + E2	E1 E2 S 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1		

<table>
<tr>
<td>OU Exclusivo
$S = \overline{E1} \cdot E2 + E1 \cdot \overline{E2}$</td>
<td>
<table>
<tr><td>E1</td><td>E2</td><td>S</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
</table>
</td>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td>Coincidência
$S = E1 \cdot E2 + \overline{E1} \cdot \overline{E2}$</td>
<td>
<table>
<tr><td>E1</td><td>E2</td><td>S</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr>
</table>
</td>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td>Memória RS</td>
<td> 

Símbolo</td>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
</table>

Álgebra de Boole

Postulados

1- Complementação **Se A = 0 então $\overline{A}$ = 1 ; Se A = 1 então $\overline{A}$ = 0 ; $\overline{\overline{A}}$ =A**

2- Adição		3- Multiplicação	
0 + 0 = 0	A + 0 = A	0 . 0 = 0	A . 0 = 0
0 + 1 = 1	A + 1= 1	0 . 1 = 0	A . 1 = A
1 + 0 = 1	A + A = A	1 . 0 = 0	A . A = A
1 + 1 = 1	$\overline{A}$ +A = 1	1 . 1 = 1	$\overline{A}$. A = 0

Propriedades

1 - Comutativa

- Na adição A + B = B + A

- Na multiplicação A . B = B . A

2 - Associativa

- Na adição (A + B) + C = A+ (B + C) = A + B + C

- Na multiplicação (A . B) . C = A . (B . C) = A . B . C

3 - Distribuitiva A. (B + C) = A . B + A . C

Teoremas de DeMorgan

1 - $\overline{A . B} = \overline{A} + \overline{B}$

2 - $\overline{A + B} = \overline{A} . \overline{B}$

Identidades Auxiliares

1 - A +A.B = A

2 - A + $\overline{A}$ **. B = A + B**

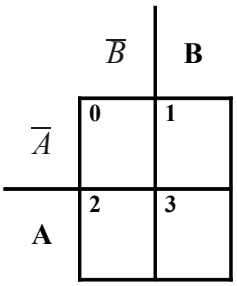
3 - A.B + $\overline{B}$ **= A +** $\overline{B}$

4 - (A + B) . (A + C) = A + B.C

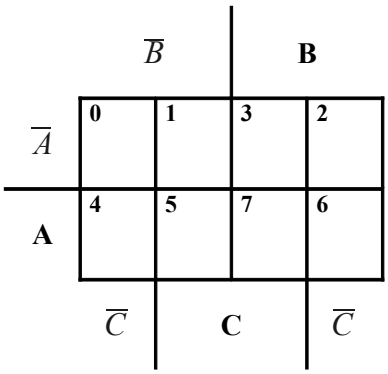
Mapas de Karnaugh

Os diagramas ou mapas de Karnaugh ajudam na simplificação de expressões. Abaixo mapas para 2, 3 ou 4 variáveis.

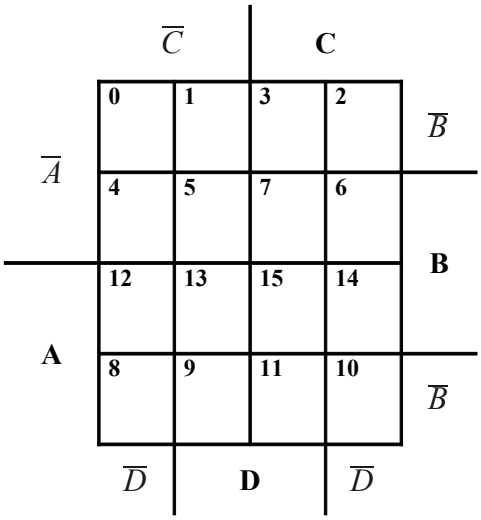
2 VARIÁVEIS



3 VARIÁVEIS



4 VARIÁVEIS



Exercícios

1. Faça a tabela verdade das expressões abaixo:

a. $S = A(B+\overline{C})$

b. $S = (\overline{A}B) + (\overline{C}D)$

c. $S = A(B+C) + B(A+C) + \overline{ABC}$

d. $S = (AB) \oplus (CD)$

2. Monte o circuito correspondente às expressões abaixo:

a. $S = ABC + [\overline{A}\,(B\,\overline{C}\,D) \oplus ABC\,\overline{D}]$

b. $S = [A\,\overline{(B+C)} \oplus \overline{A}\,B] + \overline{B}\,C$

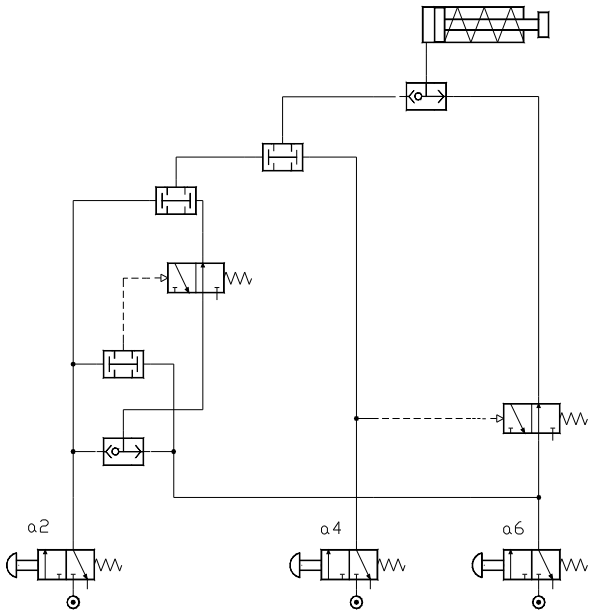
c. $S = ((B \oplus AC)\,AB) \overline{+}\,A\,(B \oplus C)$

d. $S = \overline{A}\overline{B}\overline{C}D + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}\overline{C}\overline{D}$

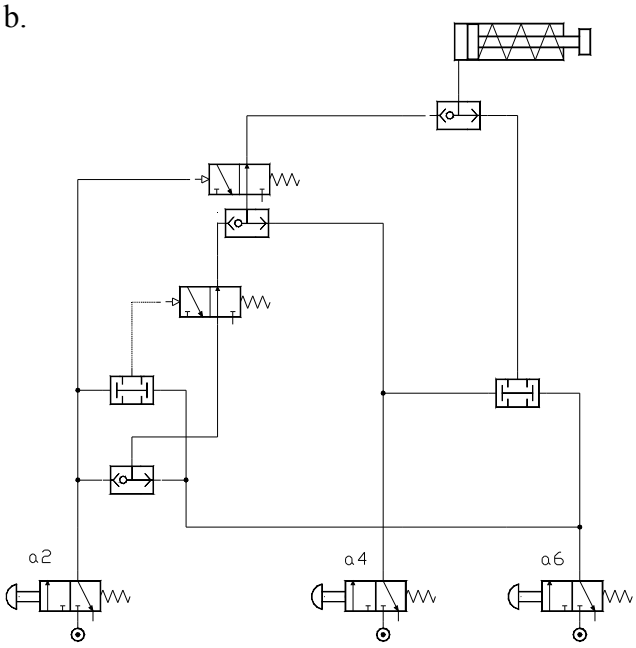
e. $S = AB(C+D) + CD(A+B) + BC(A+D) + AD(B+C) + BD(A+C) + AC(B+D)$

3. Dê as expressões correspondentes aos circuitos abaixo:

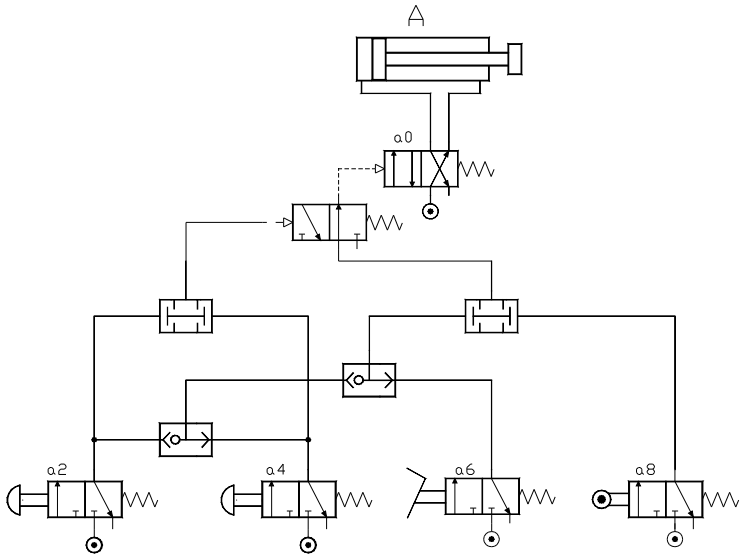
a.



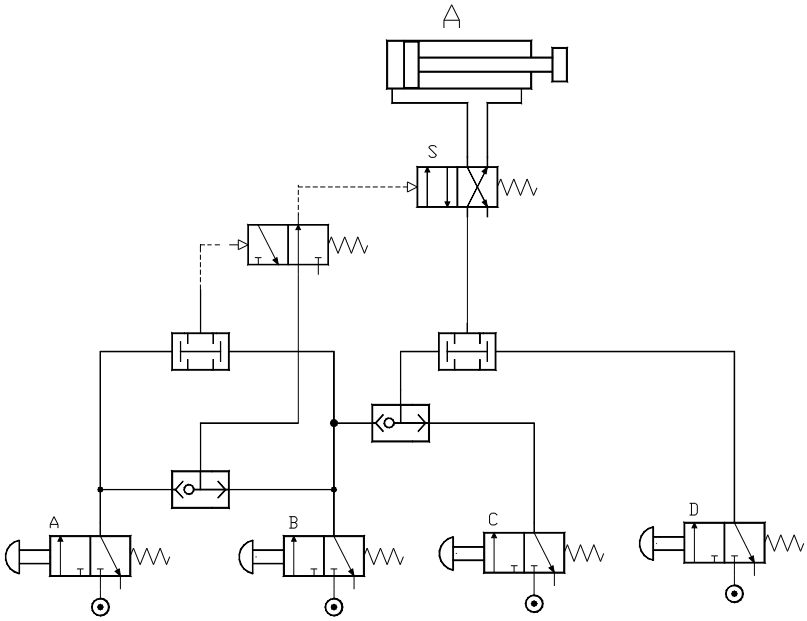
b.



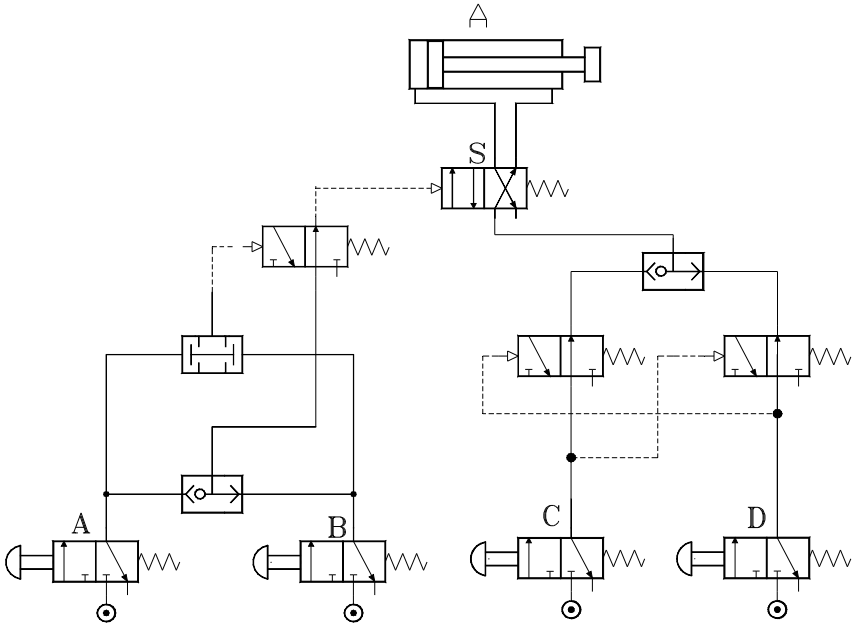
c.



d.

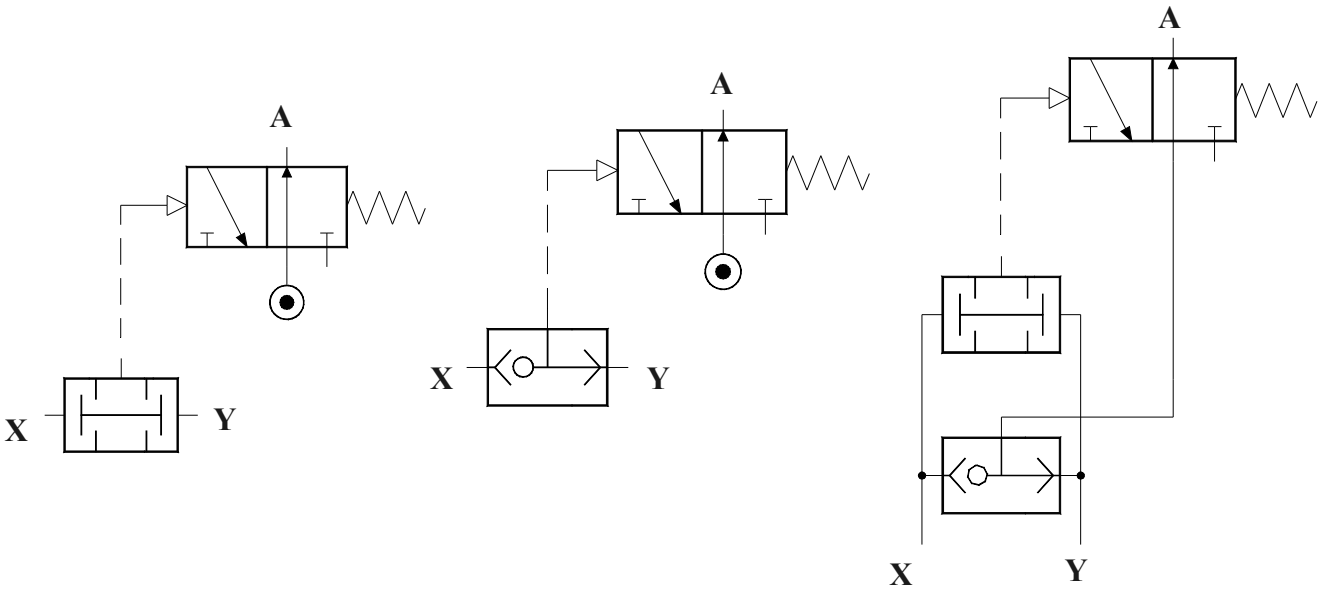


e.



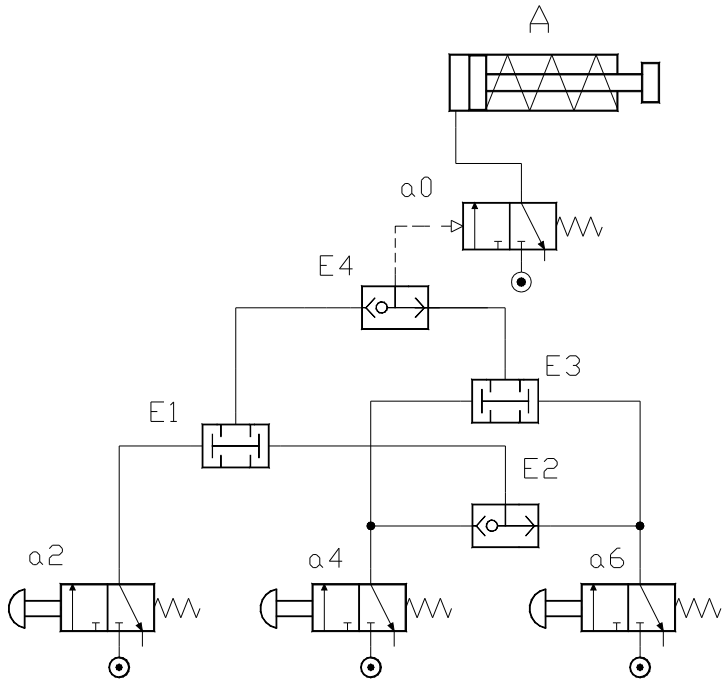
EXEMPLOS DE PORTAS LÓGICAS PNEUMÁTICAS

NAND **NOR** **EXOR**



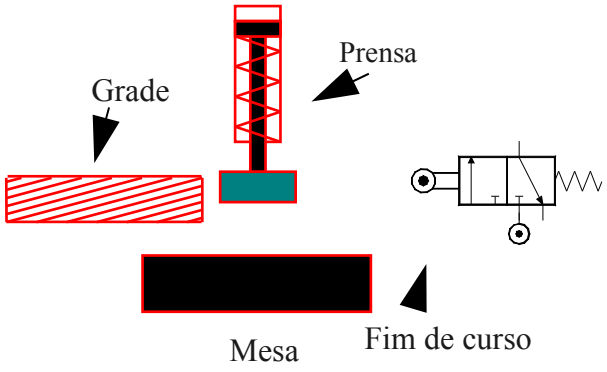
EXEMPLOS DE CIRCUITOS COMBINACIONAIS

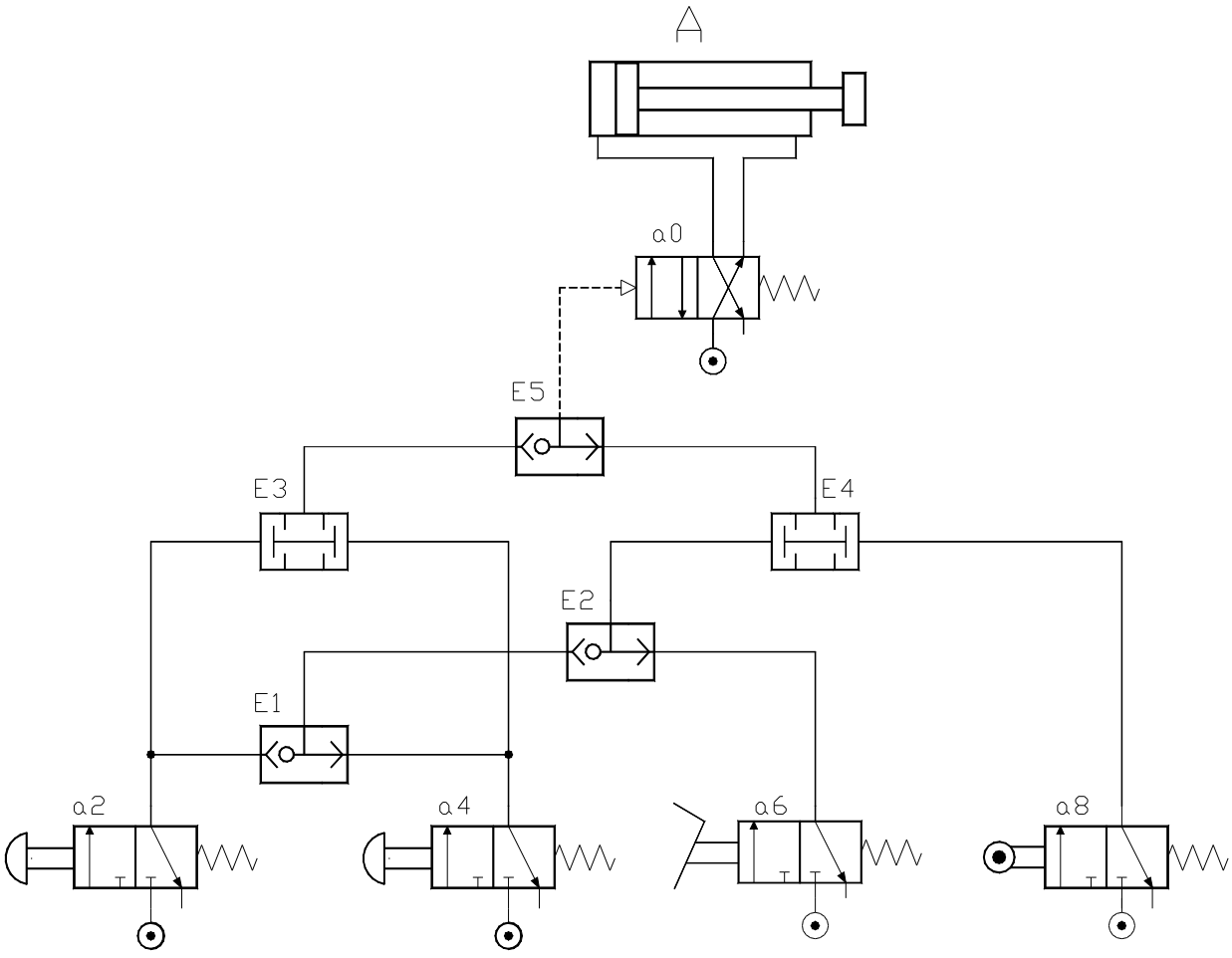
a. O comando do cilindro de uma, prensa deve ser feito através de 03 válvulas 3/2 - botão / mola (a2, a4 e a6), de modo que o pistão avança se forem acionadas simultaneamente duas válvulas quaisquer. Como são três válvulas combinadas duas a duas temos apenas três possibilidades: (a2 e a4) ou, (a4 e a6) ou (a2 e a6), assim representadas: (a2 x a4) + (a4 x a6) + (a2 x a6). Simplificando temos: a2 x (a4 + a6) + (a2 x a6), o que resulta no circuito abaixo.



Para circuitos com um número maior de possibilidades, usamos a álgebra de Boole para a simplificação das equações, o que pode ser feito de forma analítica ou de forma gráfica, através do Diagrama de Karnaugh.

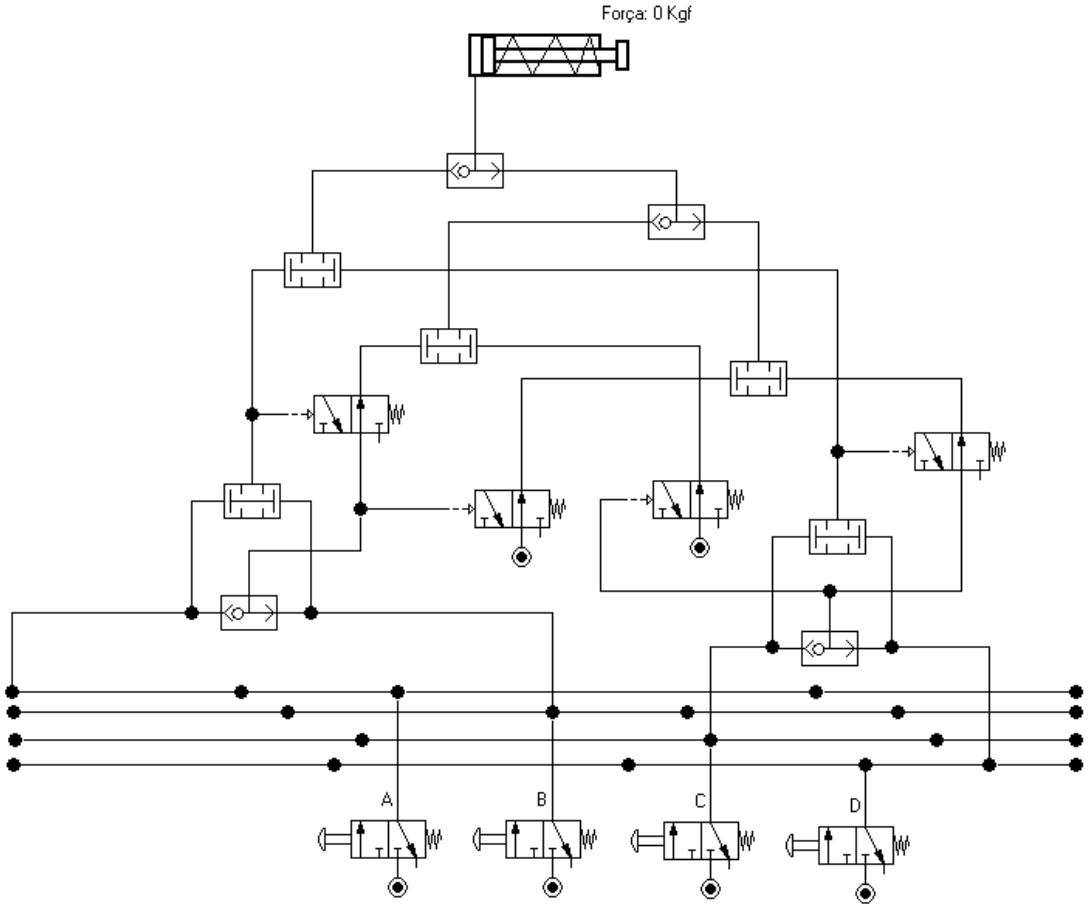
b. O comando do cilindro(S.E.) de uma prensa pode ser feito através de 04 válvulas 3/2 (duas botão / mola, pedal/mola e uma de fim de curso rolete/mola para confirmar o fechamento da grade de proteção). Para que o pistão avance devem ser satisfeitas, no mínimo, uma das condições abaixo:
   1. os dois comandos manuais (a2 e a4) devem estar acionados.
   2. grade de proteção fechada e acionamento por pedal (a8 e a6).
   3. grade de proteção fechada e acionamento por qualquer acionamento manual (a8 e, a2 ou a4).





c. O avanço de um cilindro é feito através de quatro válvulas, obedecendo à expressão:
S = $\overline{A}.\overline{B}.\overline{C}.D + \overline{A}.\overline{B}.C.\overline{D} + \overline{A}.B.\overline{C}.\overline{D} + A.\overline{B}.\overline{C}.\overline{D}$ = ABCD .

Sugestão: use o diagrama de Karnaugh.

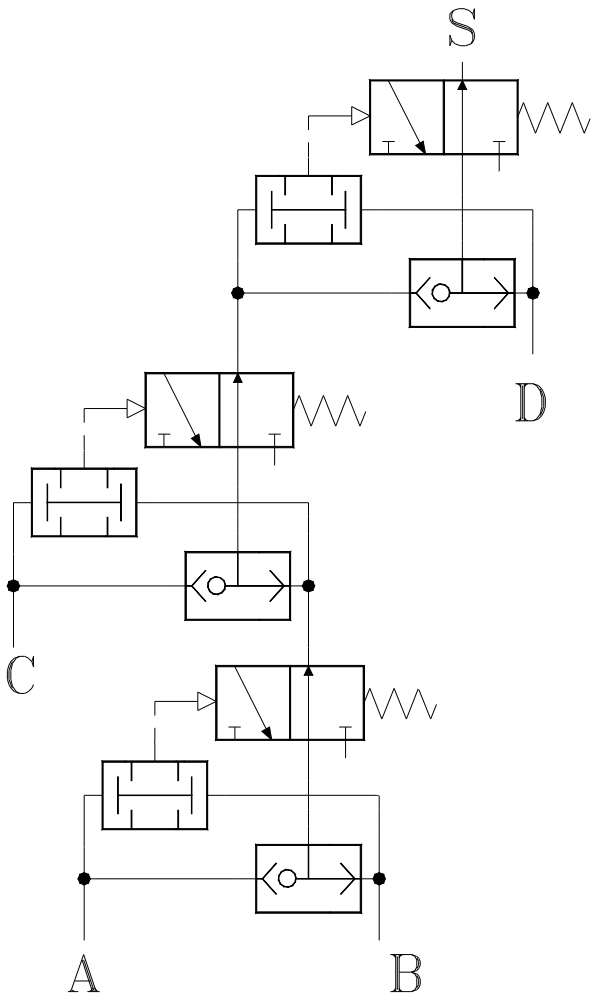


d. Uma comporta acionada por um cilindro pneumático deve ser comandada a partir de quatro pontos distintos por chaves manuais com retenção, obedecendo às seguintes condições:

i. Qualquer uma das quatro chaves sozinha aciona sua abertura (o cilindro avança);
ii. Se qualquer outra segunda chave for acionada ela fecha (o cilindro retorna);
iii. Se for acionado uma terceira chave qualquer, a comporta abre novamente;
iv. Ao ser acionada a quarta chave, a comporta fecha novamente.

(Adaptado de **BOLLMANN**, 1997)

Sugestão: use o diagrama de Karnaugh.

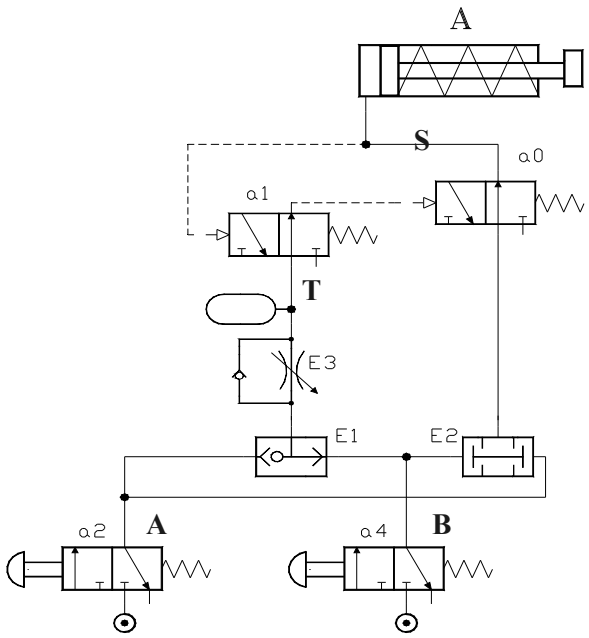


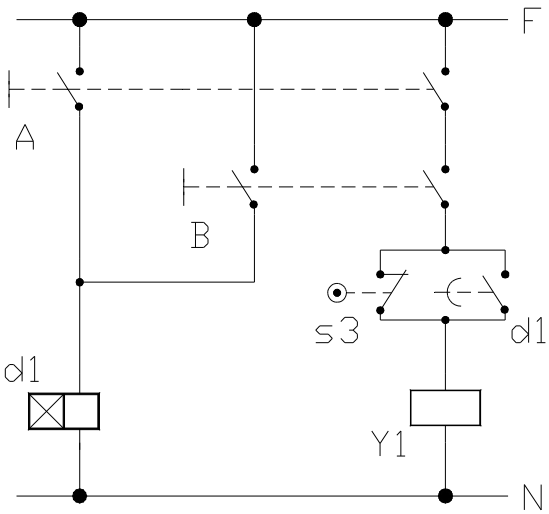
3.7.1 Comando bimanual de segurança

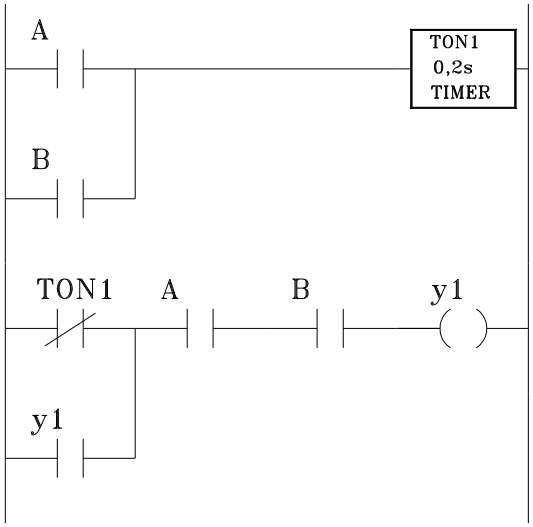
O cilindro A avança se a2 e a4 forem acionadas em um intervalo de tempo menor que o tempo de atuação do temporizador, ajustado através da válvula E3.

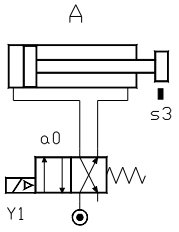
S = A.B($\overline{T}.\overline{S}$) ;

S = A.B($\overline{T}$ S)







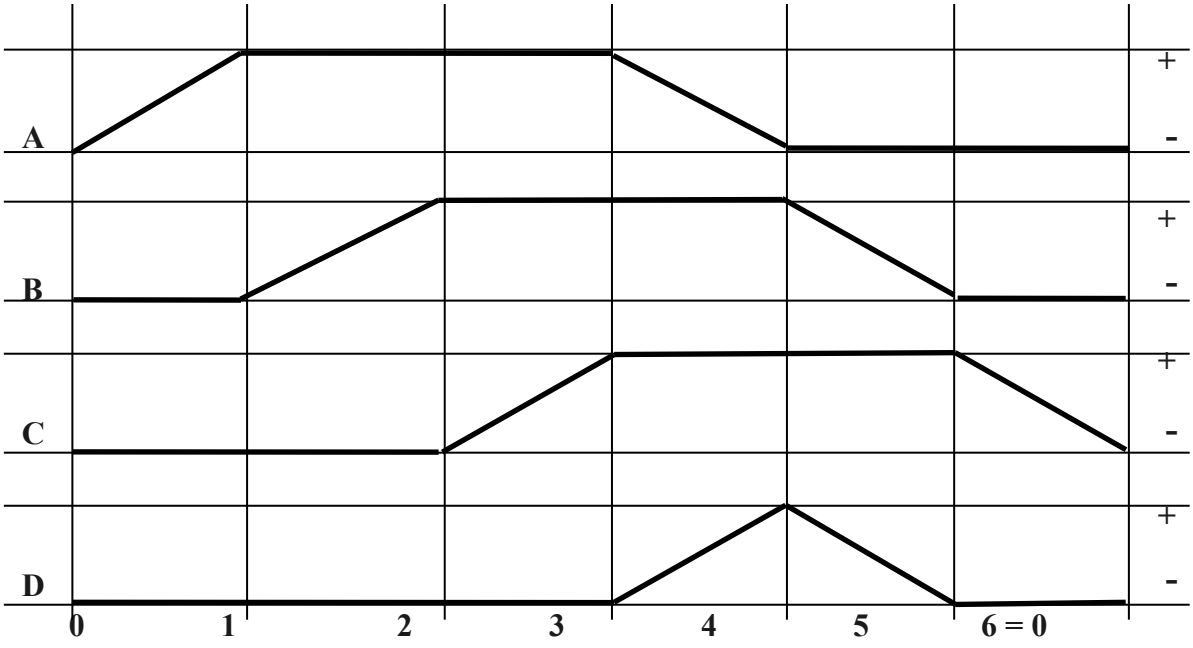


3.8 Circuitos sequenciais

Os **comandos pneumáticos seqüenciais** são empregados em operações com programação de trajetória e/ou tempo e tem metodologia de resolução desenvolvida em função do seu grau de complexidade, o que nos leva a usar métodos intuitivos ou estruturados. Podem ser representados de forma gráfica ou algébrica.

Forma algébrica: **A+ B+ C+ (D+ A–) (B– D–) A–**, onde as letras indicam os atuadores, os sinais + e – indicam respectivamente, avanço e retorno destes atuadores e os parênteses, os movimentos simultâneos.

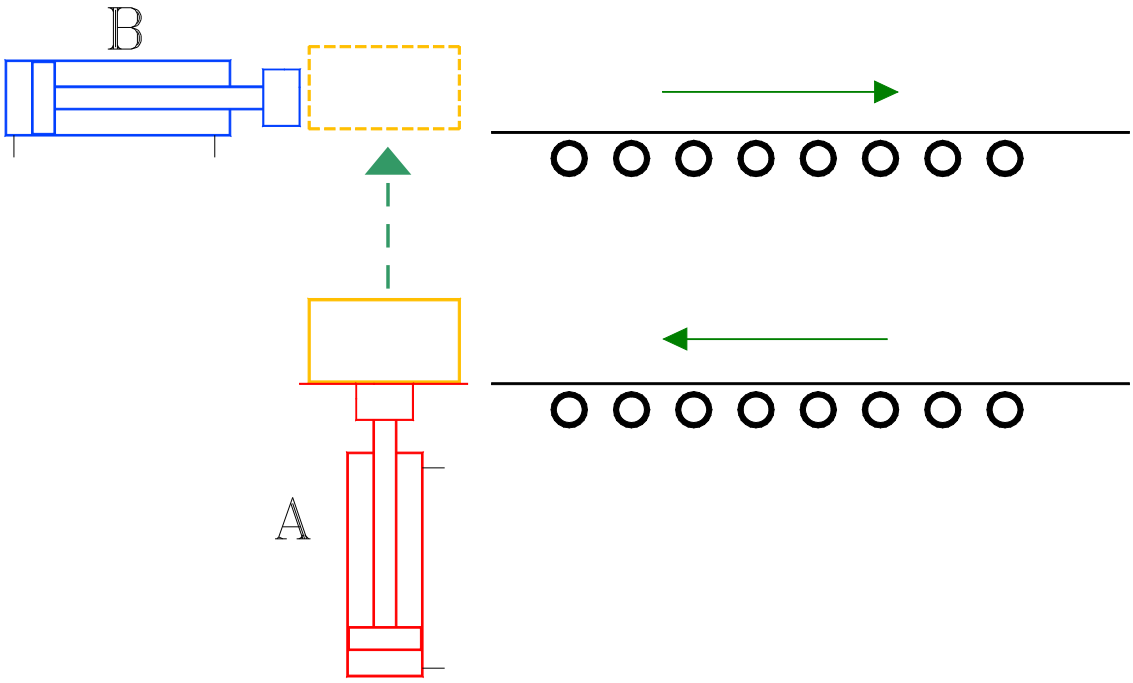
Forma gráfica: através de um diagrama trajeto–passo, mostrado a seguir.



A seguir, exemplos de algumas seqüências.

MUDANÇA DE NÍVEL E DIREÇÃO.

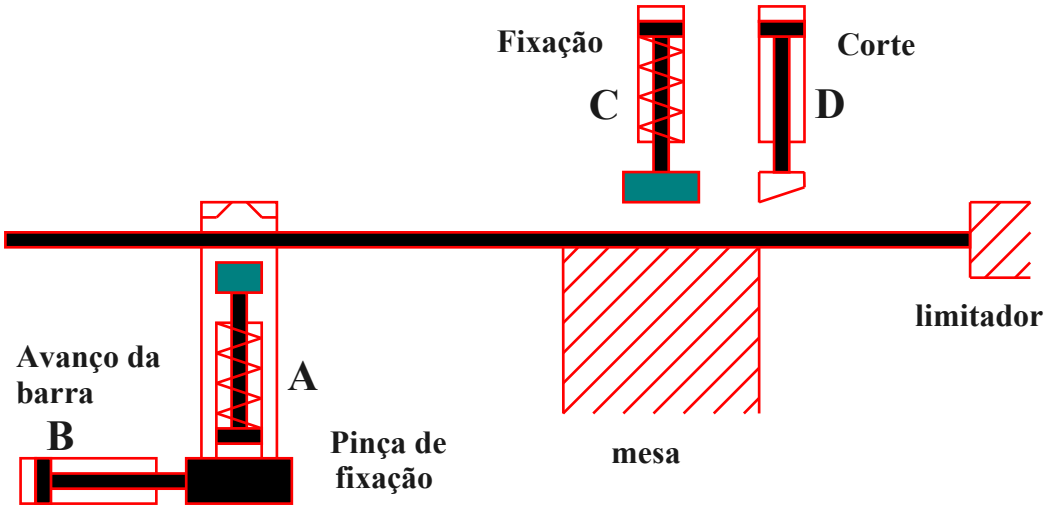
No sistema a seguir uma caixa deve passar de uma esteira para outra em nível mais alto. Isto pode ser conseguido inicialmente fazendo o cilindro A avançar e suspender a plataforma na qual está a caixa. Esta ao chegar no nível da outra esteira, através de uma chave de fim de curso (elétrica, pneumática, etc), faz o cilindro B avançar empurrando assim a caixa para a esquerda até que esta fique sobre a esteira. Também através de uma chave de fim de curso, é acionado simultaneamente o retorno dos cilindros A e B e ambos voltam à posição de origem, completando assim um ciclo de trabalho.



Exemplo 1

DISPOSITIVO DE CORTE AUTOMATIZADO DE BARRAS

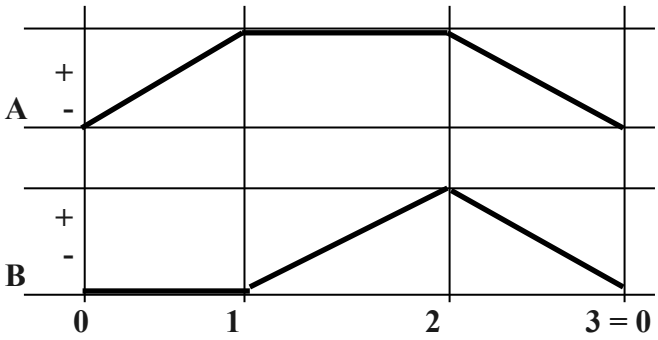
Seja o dispositivo de corte de barras metálicas, mostrado no esquema abaixo. O cilindro A fixa a barra ao dispositivo de avanço, o cilindro B faz o avanço desta até a posição de corte, o cilindro C faz a fixação sobre a mesa e, após isto, o cilindro D avança iniciando o corte da barra, simultaneamente com o retorno do cilindro A. Cortada a barra, o cilindro D retorna simultaneamente com o cilindro B, que assim se posiciona para uma nova alimentação. O cilindro C retorna liberando a barra da sua fixação sobre a mesa, concluindo o ciclo e permitindo assim o reinício da operação.



Exemplo 2

A seqüência do exemplo 1 pode ser assim representada:

-algebricamente pela indicação A+ B+ (A - B-)
ou
-pelo diagrama trajeto x passo

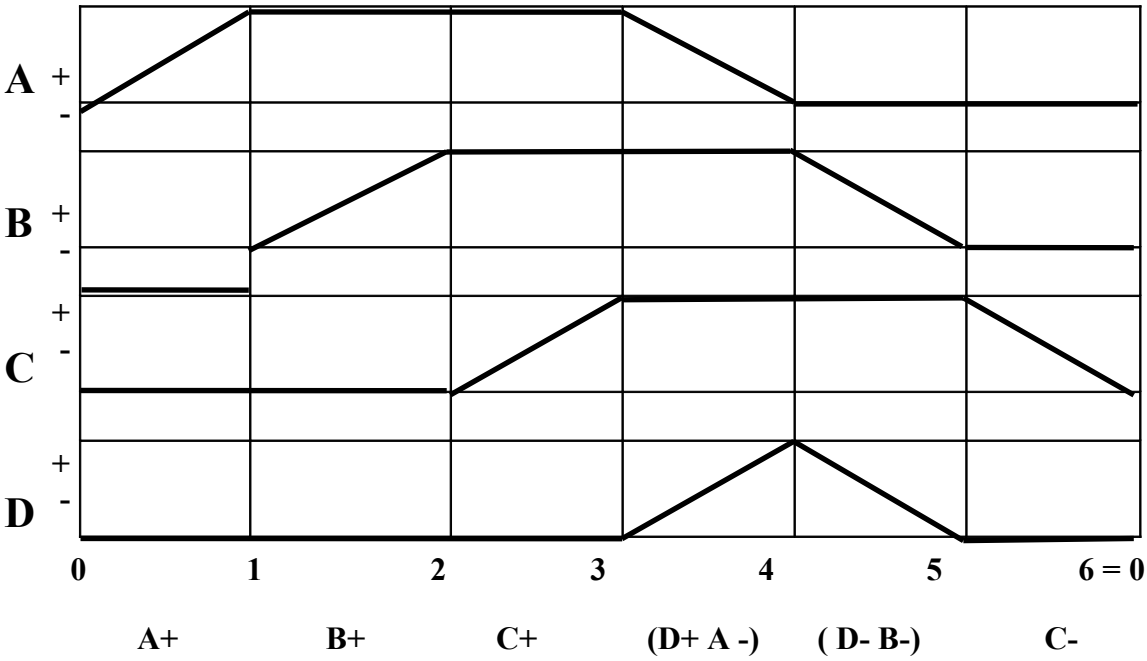


Para a seqüência do exemplo 2 temos:

-algebricamente pela indicação A+ B+ C+ (D+ A -) (D- B-) C-

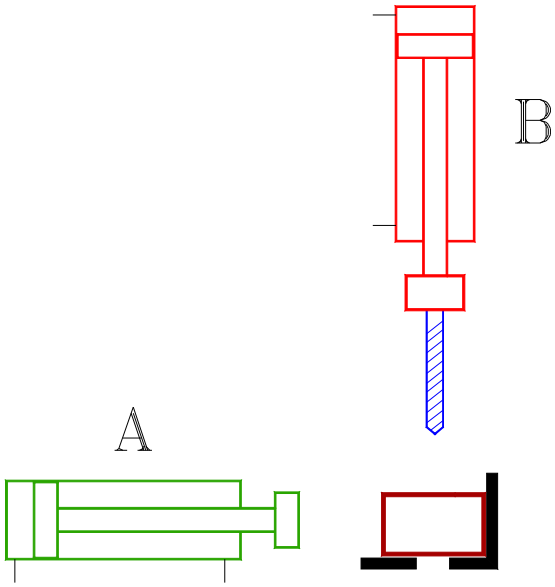
ou

-pelo diagrama trajeto x passo



FURADEIRA PNEUMÁTICA.

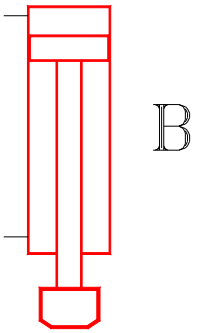
No sistema abaixo o cilindro A avança prendendo a peça P e assim a mantém, enquanto o cilindro B avança com a broca e executa a furação. Após o retorno de B com a broca, o cilindro A retorna, soltando a peça.

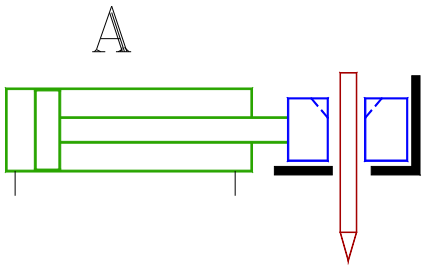


Exemplo 3

MARTELO PNEUMÁTICO.

No sistema abaixo o cilindro A avança prendendo a peça e assim a mantém, enquanto o cilindro B avança deformando aquela. Este cilindro retorna e repete o ciclo uma vez, completando a deformação . Após o último retorno desse, o cilindro A retorna, soltando a peça.

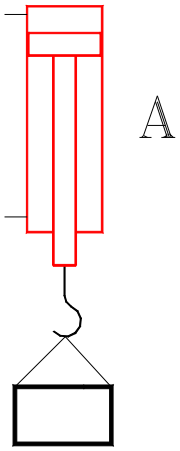


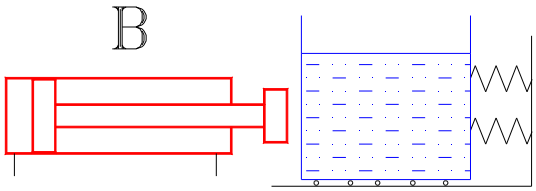


Exemplo 4

BANHO COM TANQUE VIBRATÓRIO.

No sistema abaixo o cilindro A avança mergulhando a peça no tanque e assim a mantém, enquanto o cilindro B avança e retorna diversas vezes, com um curso muito pequeno, produzindo no tanque, um movimento vibratório. Depois de algum tempo o cilindro B para e, só então, o cilindro A retorna, subindo a peça.

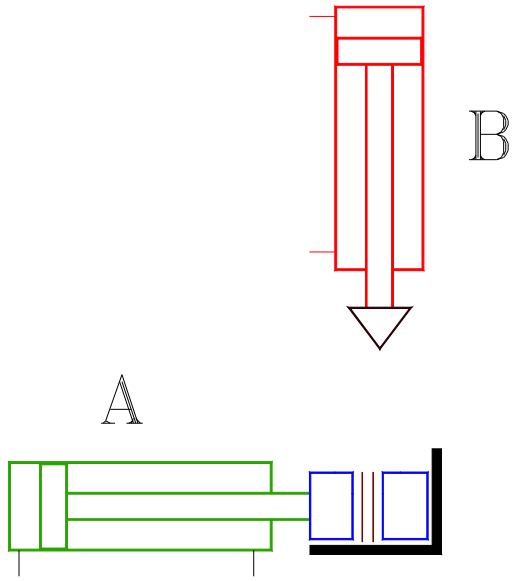




Exemplo 5

MÁQUINA SELADORA OU DE SOLDAR.

No sistema abaixo o cilindro A avança prendendo as peças a serem coladas ou soldadas e assim as mantém. Logo em seguida o cilindro B avança e assim permanece por algum tempo, a fim de permitir a soldagem. Após o retorno do cilindro B, o cilindro A também retorna, liberando as peças unidas.



Exemplo 6

INDICAÇÕES:

Continuidade - A+ B+ A - B - ...
Simultaneidade - A+ B+ (A - B-)
Tempo - A+ B+ T(5s) A - B -
Repetição - A+ B+ A - B - = 5x
Tempo limitado - A+ B+ A - B - = T

TIPOS:
- Diretas - A+ B+ A - B -
- método de resolução - Intuitivo

- Indiretas - A+ B+ B - A -
- métodos de resolução - Intuitivo puro
- Intuitivo com gatilho
- Passo a passo(*)
- Cascata(*)

*** - métodos estruturados**

3.8.1 Métodos Intuitivos

Os **métodos intuitivos** são basicamente métodos de tentativa e erro e emprega-se para circuitos de pequena ou nenhuma complexidade. Tais métodos têm a vantagem de empregar um pequeno número de componentes, o que se traduz em economia, mas deixam a desejar no tocante a confiabilidade de funcionamento do circuito, à medida que cresce o seu grau de complexidade. Os métodos intuitivos podem ser usados de três formas distintas, cada uma aplicável a cada caso e com suas limitações.

Método **intuitivo puro**, é o método no qual todas as válvulas de fins de curso têm acionamento por roletes e os conflitos são resolvidos através da instalação de válvulas de troca em série com o elemento gerador do conflito. Válvulas de troca (ou de corte) são válvulas direcionais 3/2 , 4/2, ou 5/2 com acionamento por duplo piloto, executando a função lógica de uma memória RS.

Como exemplo, é mostrada a seguir a resolução da seqüência A+ B+ A- B-. Note que é uma seqüência direta, por isso não apresenta nenhuma dificuldade, o que característico de qualquer seqüência desse tipo. A razão disso é que, nesse tipo de seqüência, os sensores de fim de curso de um determinado cilindro (por exemplo, a2 e a1 do cil. A) são acionados por um mesmo atuador (cilindro B), excluindo assim a possibilidade de que ambos sejam acionados simultaneamente.

Em seguida às seqüências diretas, serão mostradas as técnicas intuitivas empregadas para seqüências indiretas, as quais apresentam um grau de dificuldade maior que as seqüências diretas.

SEQUÊNCIA - A+ B+ A - B - ...

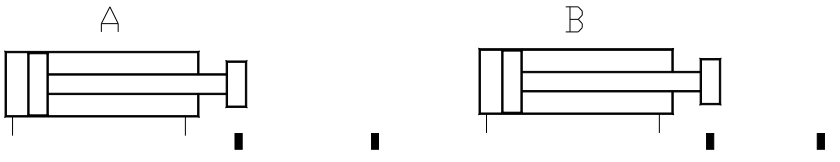
(Seqüência Direta)

Método Intuitivo Puro

O primeiro passo para estruturar o circuito é definir onde serão colocados os sensores de posição abaixo estabelecidos.

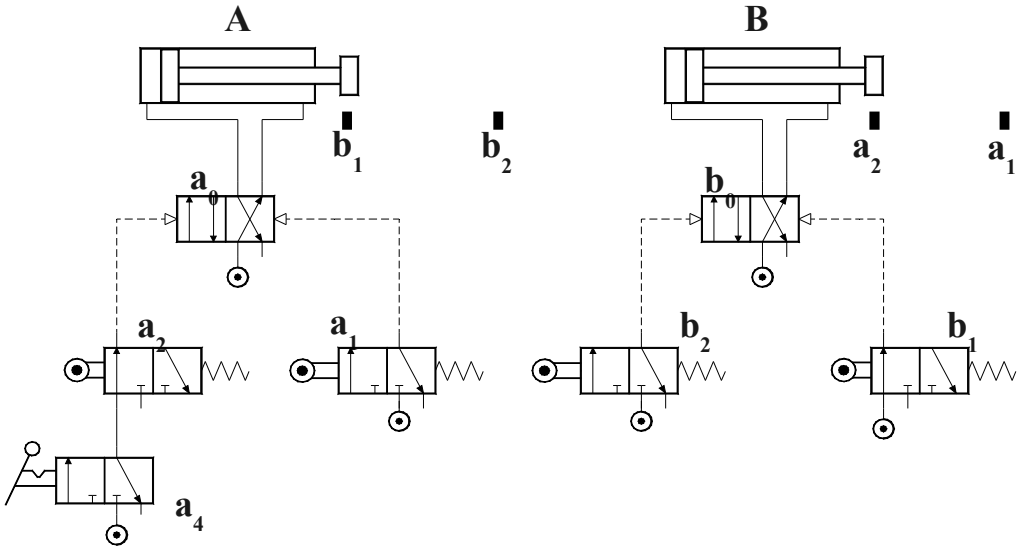
A+B+A-B-a2b2a1b1

Quando o cilindro A chega ao final do curso de avanço aciona a válvula de fim de curso b2, que propicia o avanço do cilindro B, acionamento este indicado na tabela pela seta. Ao final do curso de avanço do cilindro B, este aciona a válvula a1 que faz o retorno do cilindro A. Ao retornar, o cilindro A aciona a válvula b1 permitindo ao cilindro B também retornar. No retorno do cilindro B é acionada a válvula a2, garantindo assim o reinício do ciclo.



Como a seqüência é direta, os dois sensores de fim de curso de cada atuador (a1 e a2 ; b1 e b2) são acionados por um mesmo atuador, o que garante uma exclusividade no acionamento destes, ou seja, não há como acionar a2 e a1 (ou b2 e b1) ao mesmo tempo. Observe: o cilindro A aciona b2 ou b1 e o cilindro B aciona a2 ou a1.

O próximo passo é colocar as válvulas de comando a0 e b0, as válvulas de fim de curso que as acionam, respectivamente a2 e a1, b2 e b1, observando quais destas estão inicialmente acionadas. Isso feito instala-se em série com a2 (que corresponde ao primeiro movimento da seqüência) a válvula de partida a4, no caso de acionamento com retenção para que o ciclo seja contínuo.

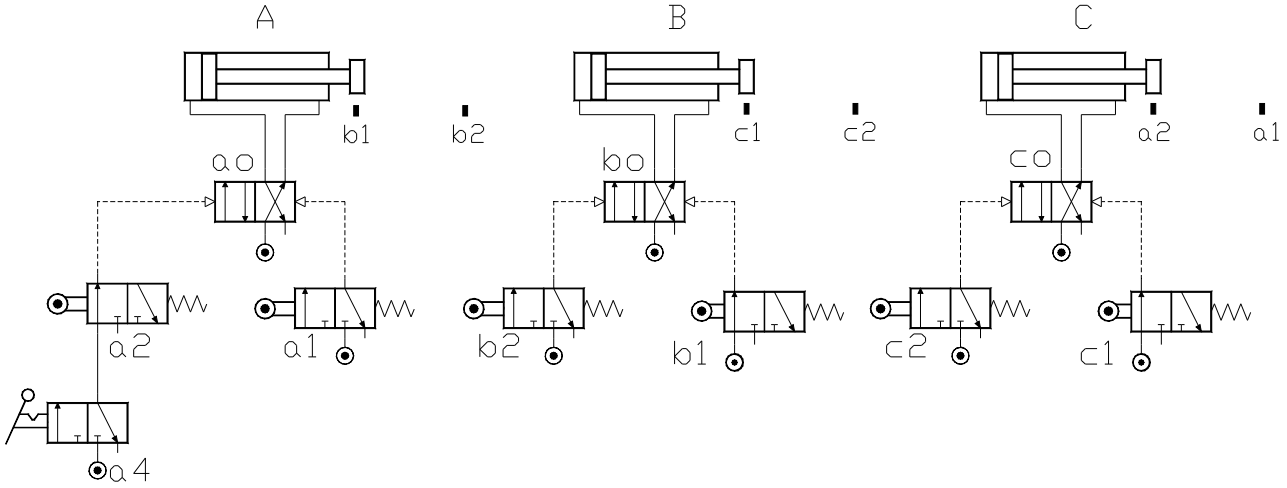


SEQUÊNCIA - A+ B+ C+ A - B - C - ...

Método Intuitivo Puro

A+B+C+A-B-C-a2b2c2a1b1c1

Da mesma forma que a anterior, esta também é uma seqüência direta, não oferecendo nenhuma dificuldade na esquematização do circuito, pois os sensores de fim de curso (a1 e a2; b1 e b2; c1 e c2) de cada um dos cilindros, são acionados também de forma mutuamente exclusiva.

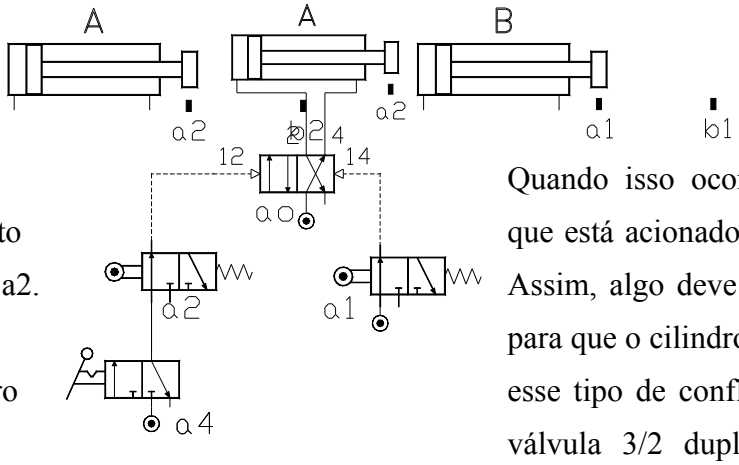


SEQUÊNCIA - A+ B+ B - A -...

Método Intuitivo Puro

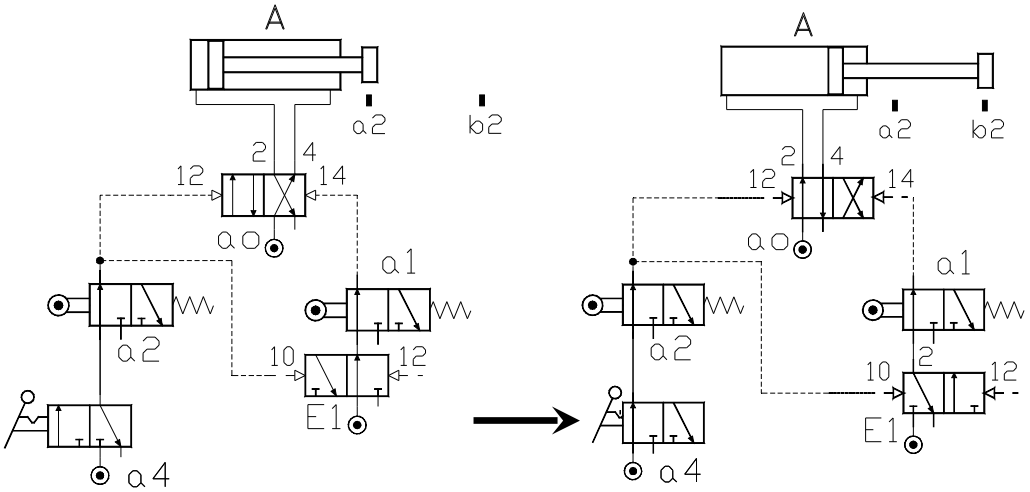
Como essa é uma seqüência indireta, surgem alguns problemas que exigem um cuidado maior na elaboração do circuito. Montada a tabela, observa-se que inicialmente a2 e a1 estão acionados, o que configura um problema, já que a2 não pode cumprir com a função de fazer o acionamento de a0 e conseqüentemente o avanço de A, pois o piloto 14 de a0 está pressurizado por a1.

A+B+B-A-a2b2b1a1

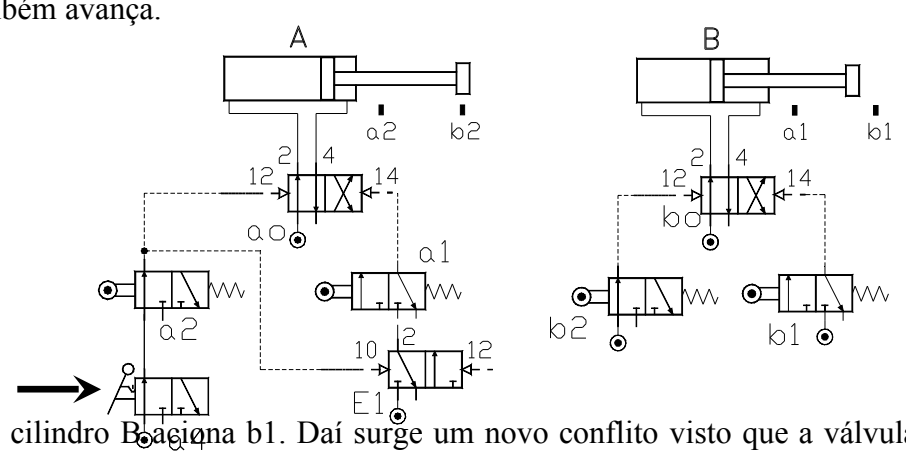


Quando isso ocorre dizemos que a1 é um "conflito", visto que está acionado e impedindo o correto funcionamento de a2. Assim, algo deve ser feito no sentido de despressurizar a1, para que o cilindro A possa avançar. No método intuitivo puro esse tipo de conflito pode ser resolvido utilizando uma válvula 3/2 duplo pilotada, (E1, doravante chamada válvula de corte) em série com a1 (função E), de tal forma que esta corte a alimentação de a1.

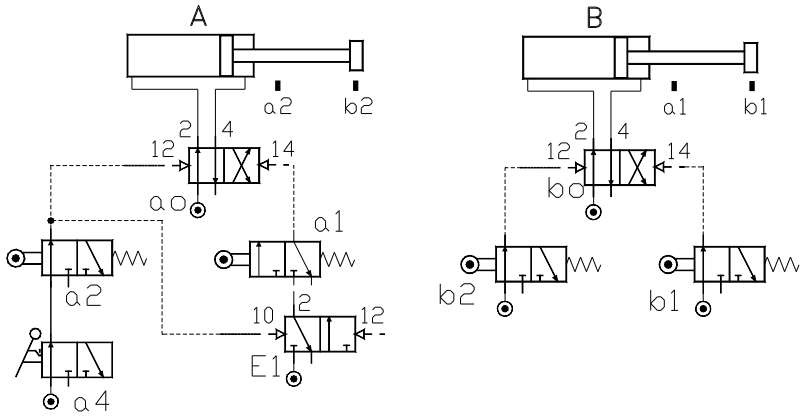
Quando a válvula a2 pressuriza o piloto 12 de a0, pressuriza também o piloto 10 de E1, fazendo então o corte da alimentação de a1 e despressurizando o piloto 14 de a0. Dessa forma, o cilindro A avança e aciona b2.



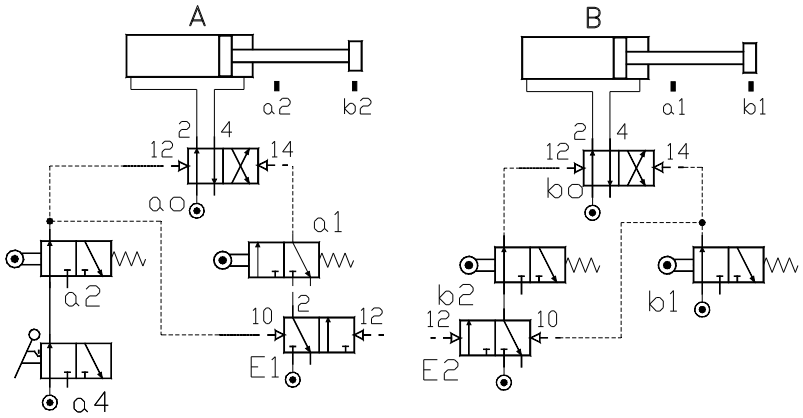
Como b1 não está acionada, b2 não encontra dificuldade para acionar a válvula de comando b0 e o cilindro B também avança.



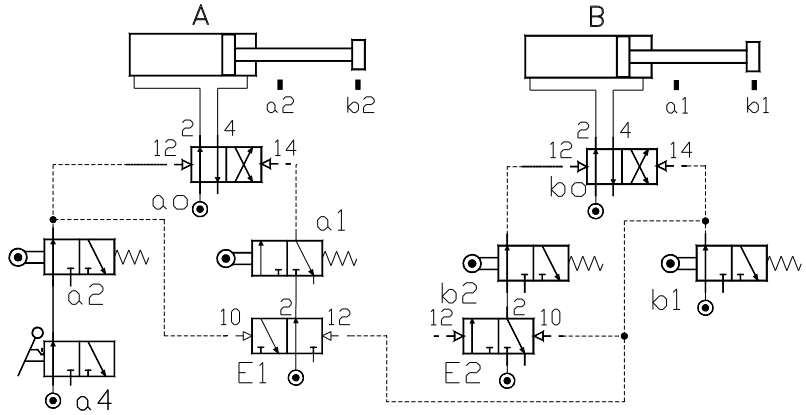
Ao avançar, o cilindro B aciona b1. Daí surge um novo conflito visto que a válvula b2 ainda está acionada pela haste do cilindro A, mantendo o piloto 12 de b0 pressurizado e impedindo que b1 possa, através do piloto 14, fazer a reposição da válvula b0 e, conseqüentemente o retorno de B.



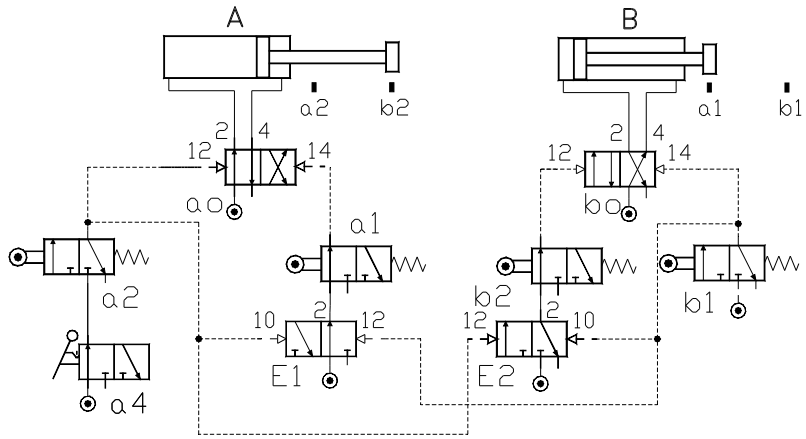
Novamente faremos uso de uma valvula de corte (E2) em série com b2. Quando a válvula b1 pressuriza o piloto 14 de b0, pressuriza também o piloto 10 de E2, fazendo então o corte da alimentação de b2 e despressurizando o piloto 12 de b0. Dessa forma, o cilindro B pode retornar.



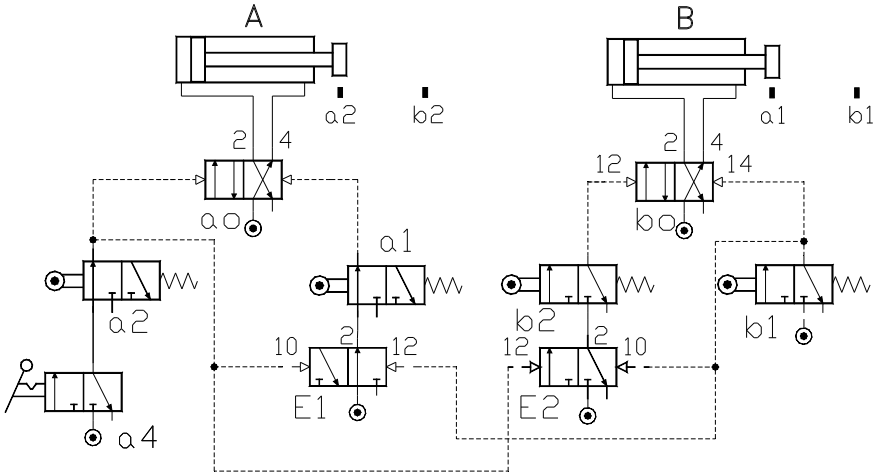
É óbvio que aquela alimentação que foi retirada de a1 deve ser reposta. Assim, b1 envia também um sinal para o piloto 12 de E1, que então retorna. Como E1 é normalmente aberta, a alimentação de a1 é restabelecida.



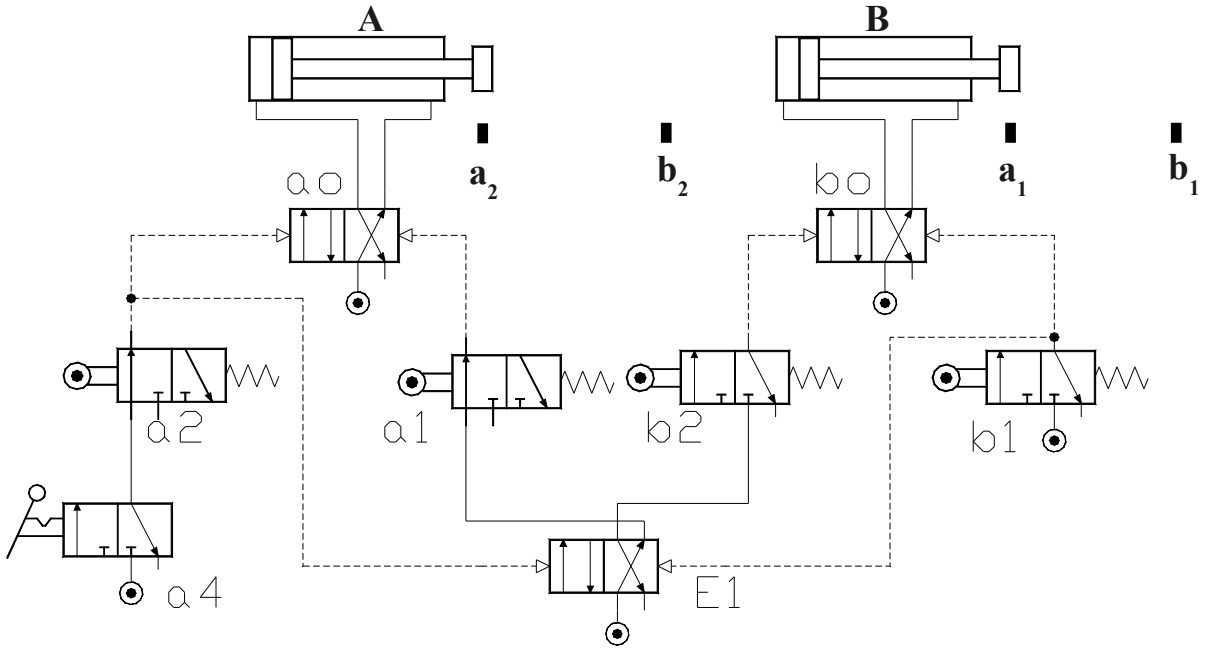
O cilindro B então retorna e aciona a1, que por sua vez atua sobre o piloto 14 de a0 fazendo o cilindro A retornar.



Vale ressaltar que, no início do ciclo quando a válvula a2 pressurizou o piloto 12 de a0, pressurizou também os pilotos 10 de E1 e 12 de E2, cortando a alimentação de a1 e pondo alimentação em b2.



Como as válvulas E1 e E2 são acionadas e repostas por a2 e b1, podemos substituí-las por uma única válvula de 4/2 ou 5/2, de duplo piloto. Assim, o circuito acima pode ser modificado e estruturado da forma seguinte:

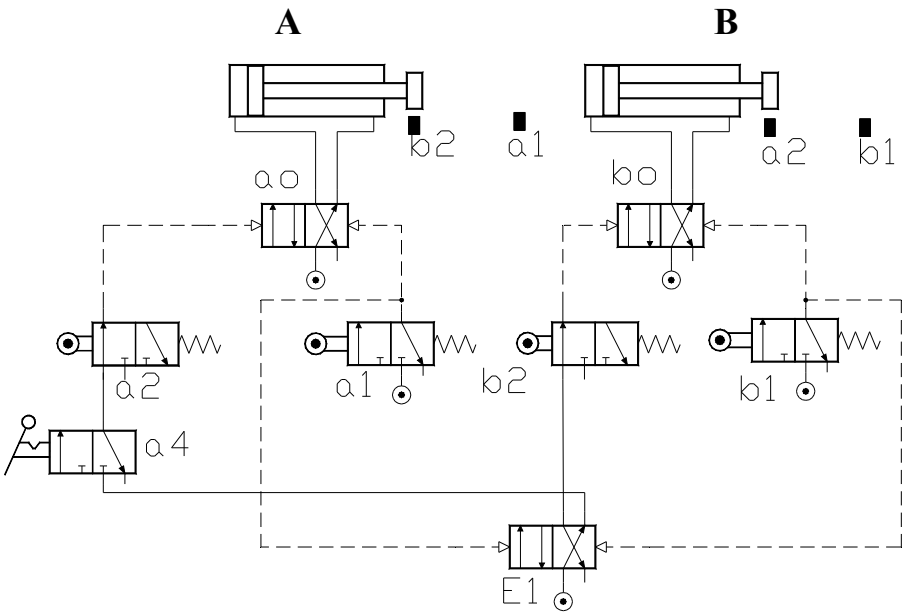


Dos circuitos acima, podemos observar que a alimentação de cada fim de curso em conflito (a1 e b2) é posta pelo primeiro fim de curso anterior a ele e retirado pelo fim de curso a quem ele atrapalha. Exemplificando: a alimentação de a1 é posta por b1 e é retirada por a2. O mesmo vale para b2, que tem a alimentação posta por a2 e retirada por b1.

A+B+B-A-a2b2b1a1

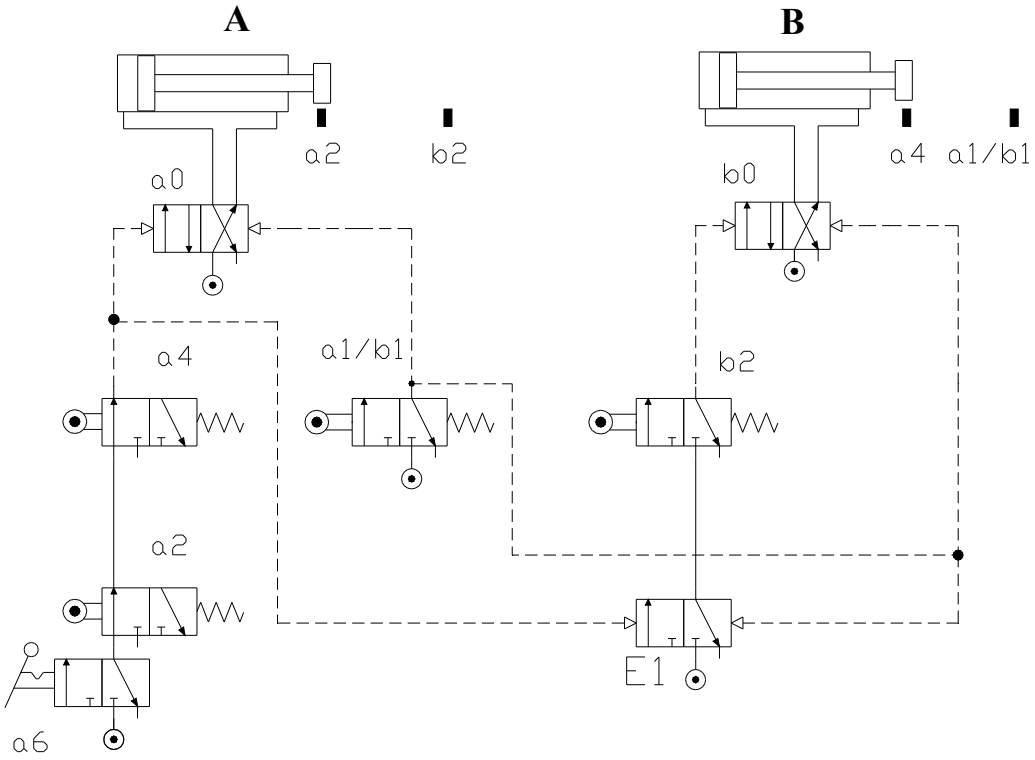
SEQUÊNCIA - A+ A - B + B - ...

Método Intuitivo Puro



SEQUENCIA - A+ B+ (A - B-) ...

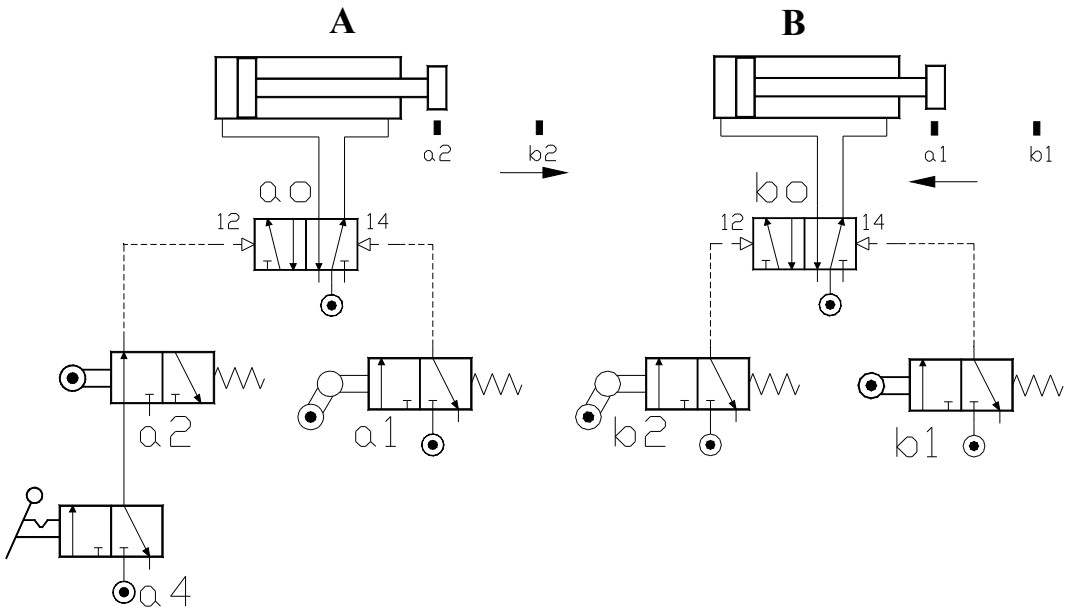
Método Intuitivo Puro



Método **intuitivo com gatilho**, é o método no qual são empregadas válvulas de fins de curso com acionamento por gatilho (também chamado de rolete escamoteável) para a resolução dos conflitos. Tal método não pode ser empregado quando o elemento que gera o conflito faz parte de uma função E.

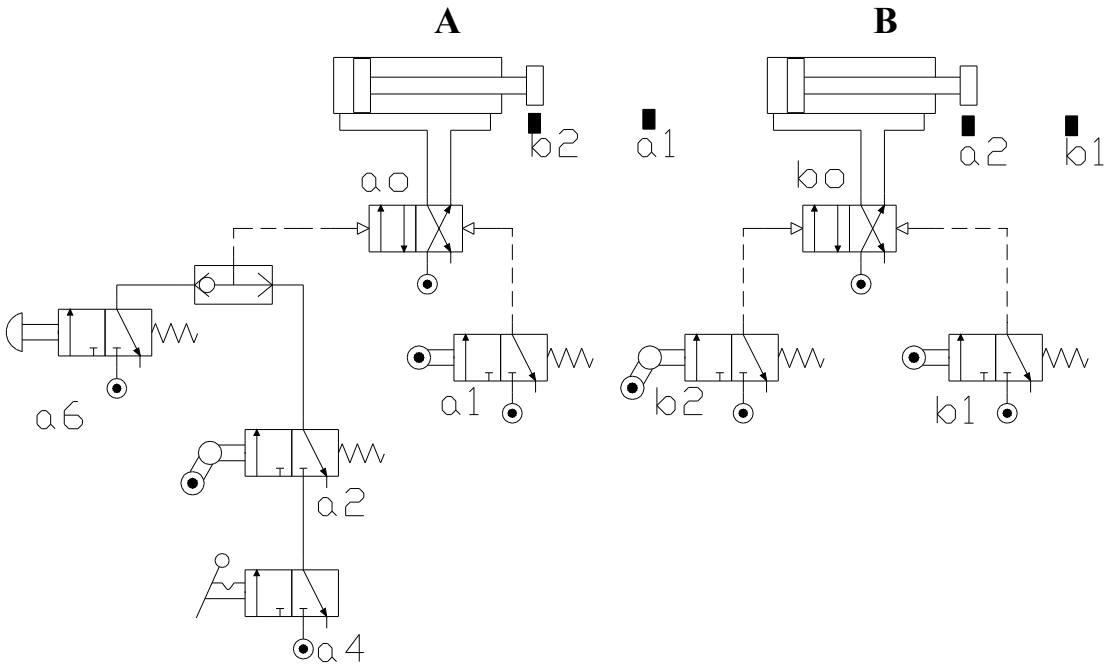
SEQUÊNCIA - A+ B+ B - A - ...

Método Intuitivo Com Gatilho



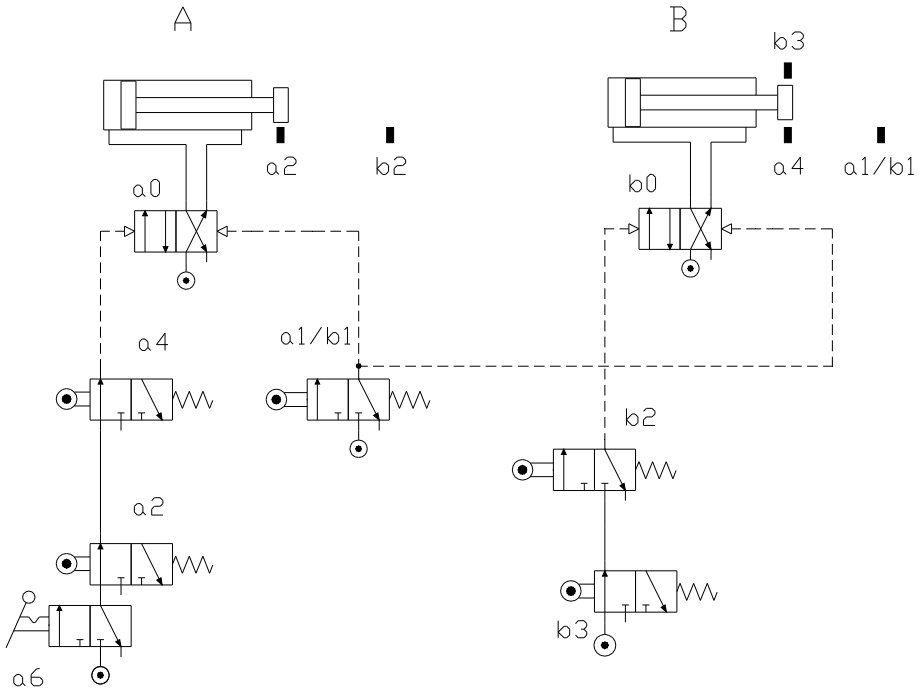
SEQUÊNCIA - A+ A - B + B - ...

Método Intuitivo Com Gatilho

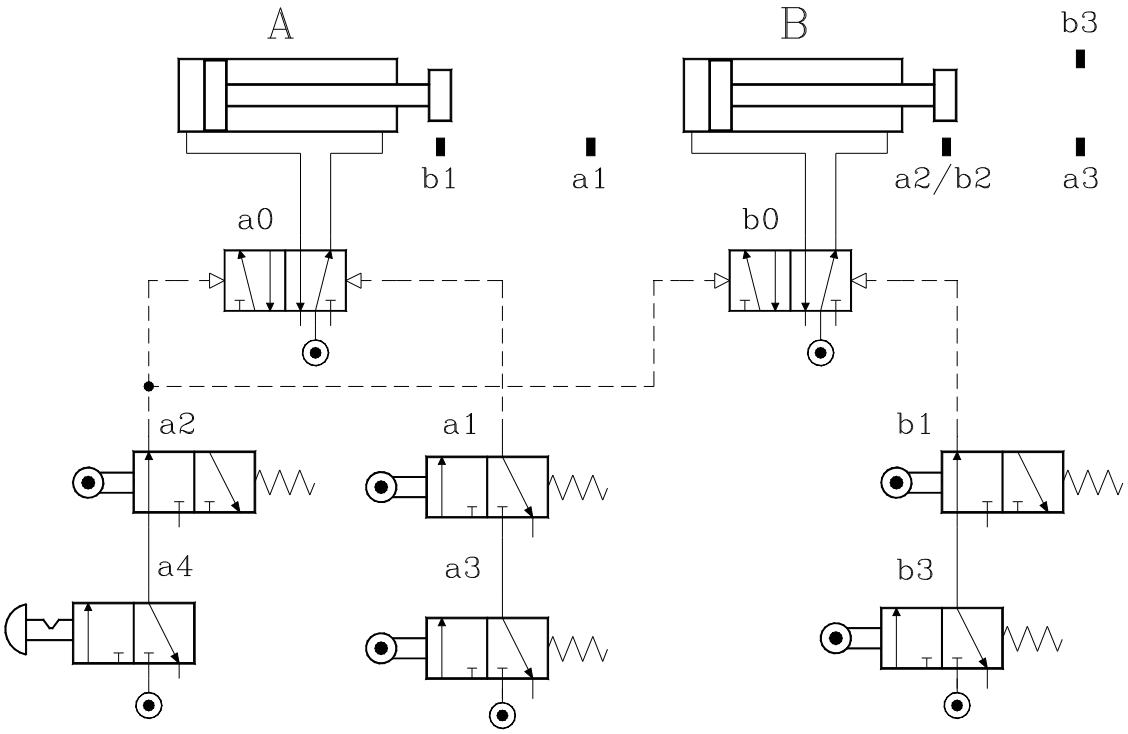


Método **intuitivo com intertravamento por fins de curso**, é o método no qual são os conflitos são resolvidos mediante o emprego de válvulas de fins de curso com acionamento por rolete, executando a função lógica E com o elemento gerador do conflito.

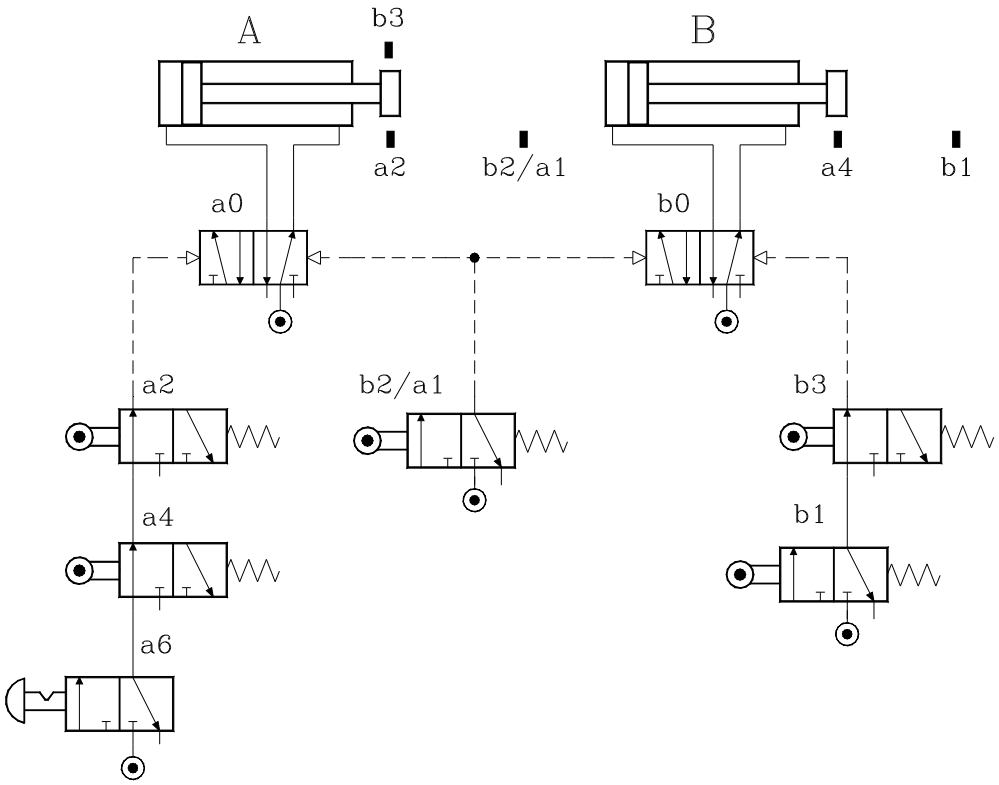
SEQUENCIA - A+ B+ (A - B-) ...



SEQUENCIA - (A+ B+) A - B- ...



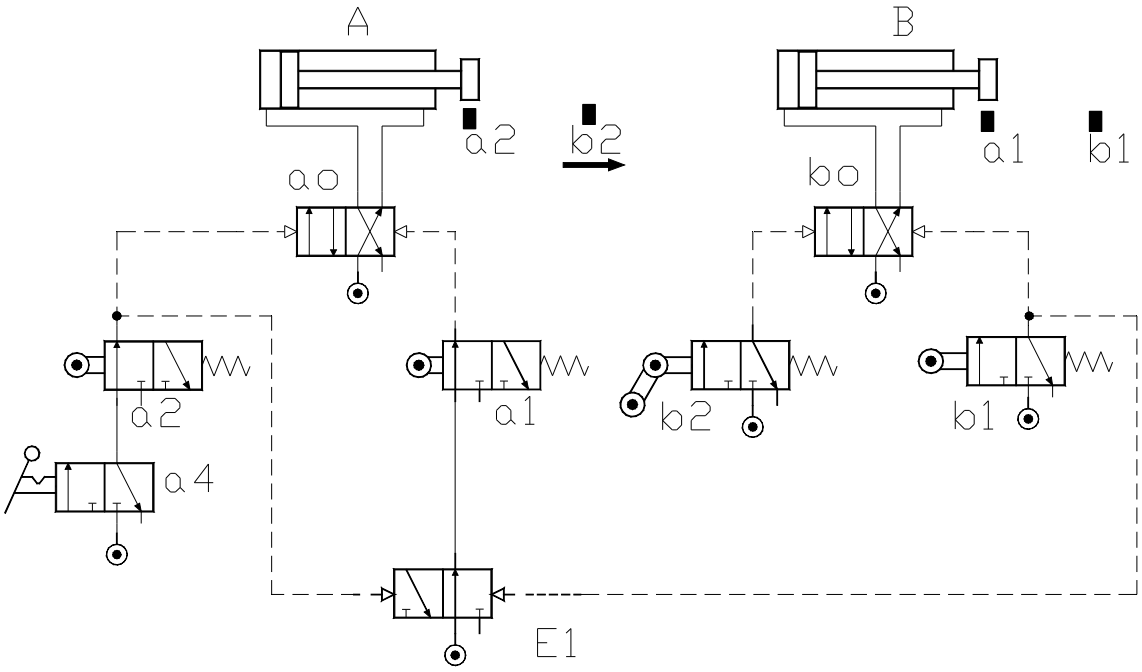
SEQUENCIA - A+ (A - B+) B- ...



Para a resolução dos conflitos, também pode ser usado um método misto, que envolva dois ou mais dos métodos anteriormente explicitados, conforme é mostrado a seguir.

SEQUENCIA - A+ B+ B – A– ...

Usando válvula de corte (intuitivo puro) e gatilho



Exercícios:

Identifique os conflitos e faça a representação das seqüências abaixo pelos métodos intuitivo puro (usando válvulas de corte) e intuitivo com gatilho.

1. A+ B+ A - B- C+ C- ...
2. A+ B+ B- C+ C- A - ...
3. A+ B+ C+ B- A - C- ...
4. A+ B+ C+ (B- C-) A -...
5. A+ (B+ A -) C+ C- B-...
6. A+ (B+ A -) (C+ B-) C- ...
7. A+ (B+ C+) C- (A- B-) ...
8. A+ A- B+ B- C+ C- ...
9. A+ A- B+ C+ C- B-...
10. A+ A- B+ C+ B- C- ...
11. A+ B+ B- A - C+ C-...
12. A+ B+ B- C+ C- A- D+ D-...
13. A+ B+ A- C+ C- B-...
14. A+ B+ A- B-A+A- ...

3.8.2 Comandos de emergência

Um comando de emergência deve executar sobre os atuadores uma função preestabelecida, que pode ser de parada ou de retorno imediato, ou outra qualquer que se fizer necessária. Para tal, geralmente é utilizada uma válvula com 4 ou 5 vias, com retenção do acionamento

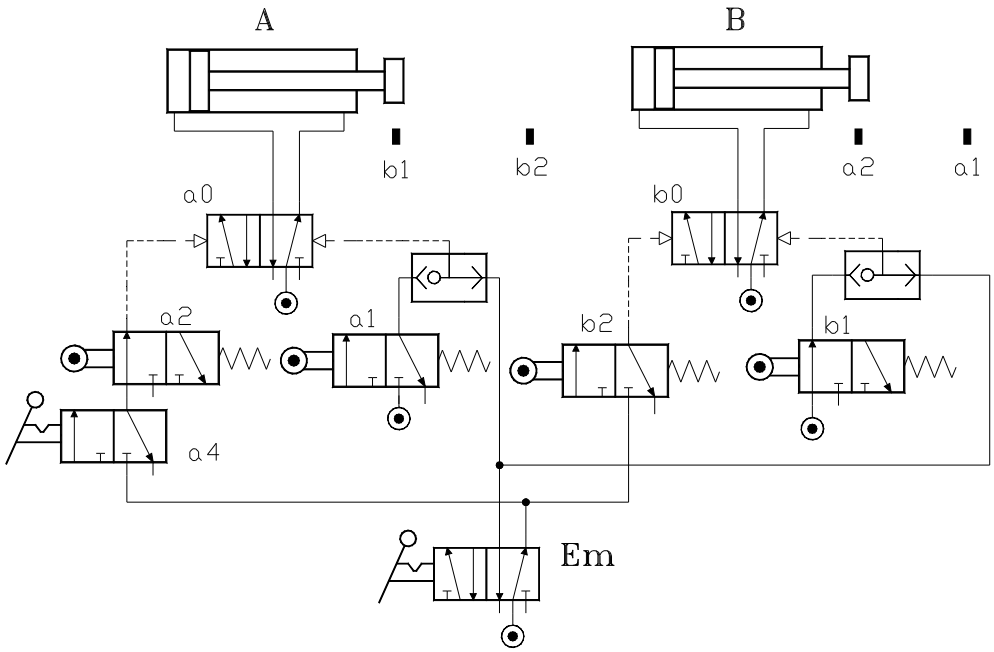
Para um comando de emergência tipo parada imediata ser empregado é quase sempre necessário o uso de válvulas de comando com três posições. Para os comandos tipo retorno imediato se faz necessário o emprego de válvulas de comando com apenas duas posições, o que torna esta técnica um pouco mais empregada que aquela. Neste caso o comando deve ser estruturado de modo que ao ser acionado deva atender às seguintes condições:

1. **Despressurizar os pilotos que permitem o avanço dos atuadores.**
2. **Pressurizar os pilotos que permitem o retorno.**
3. **Repor as válvula de troca ou corte, se houver.**

EXEMPLOS:

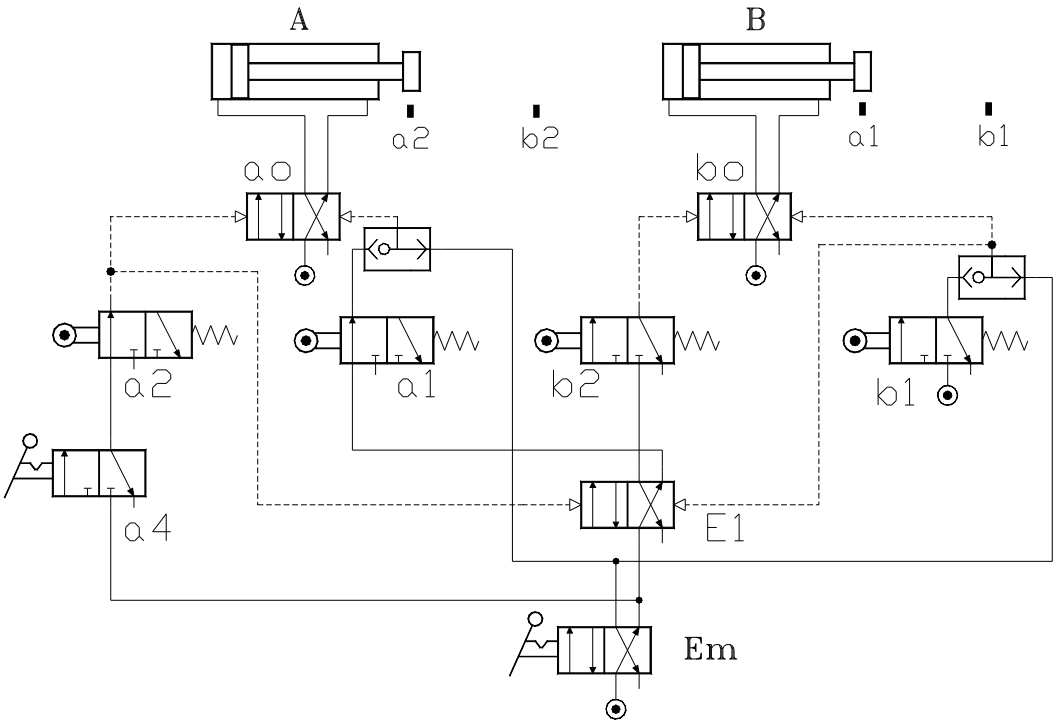
SEQUÊNCIA - A+ B+ A - B - ...

3.8.2.1 Método intuitivo puro com emergência tipo retorno imediato



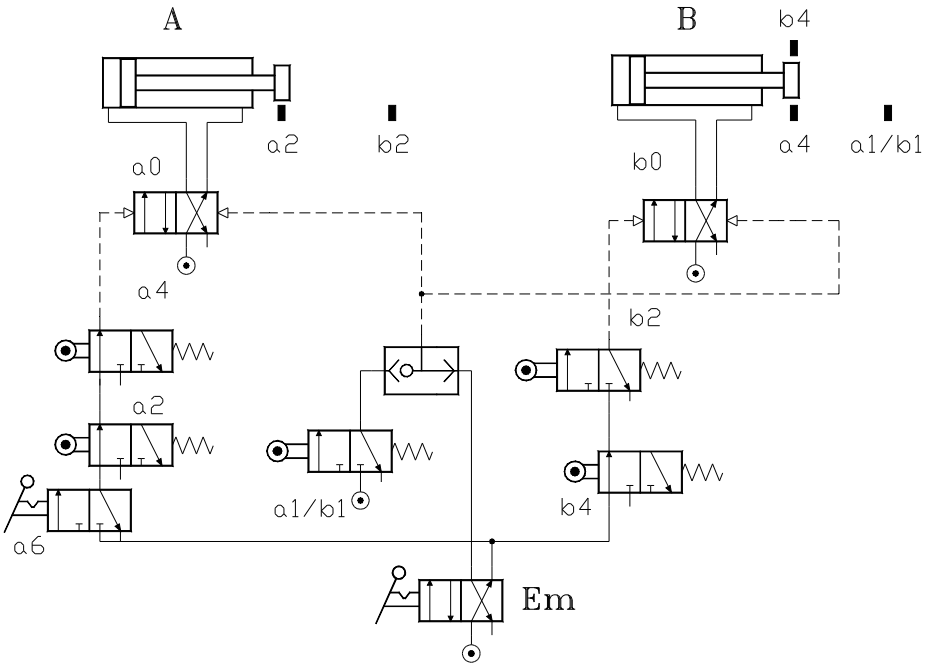
SEQUÊNCIA - A+ B+ B - A - ...

Método intuitivo puro com emergência tipo retorno imediato



SEQUÊNCIA - A+ B+ (A - B -)...

Método intuitivo com intertravamento e emergência tipo retorno imediato



3.8.3 Métodos estruturados

Os **métodos estruturados** são empregados em circuitos complexos, onde o nível de dificuldade de resolução requer o emprego de técnicas seguras que ofereçam a confiabilidade desejada de funcionamento, independente do número elevado de componentes empregados. Como métodos estruturados temos o **passo a passo** e o **cascata**

3.8.3.1 Método passo a passo

O método passo a passo consiste na divisão dos movimentos em passos e no emprego de memórias RS para ativar cada passo. Pode ser empregado usando pneumática pura, eletropneumática (onde é chamado de seqüência máxima) ou CLP.

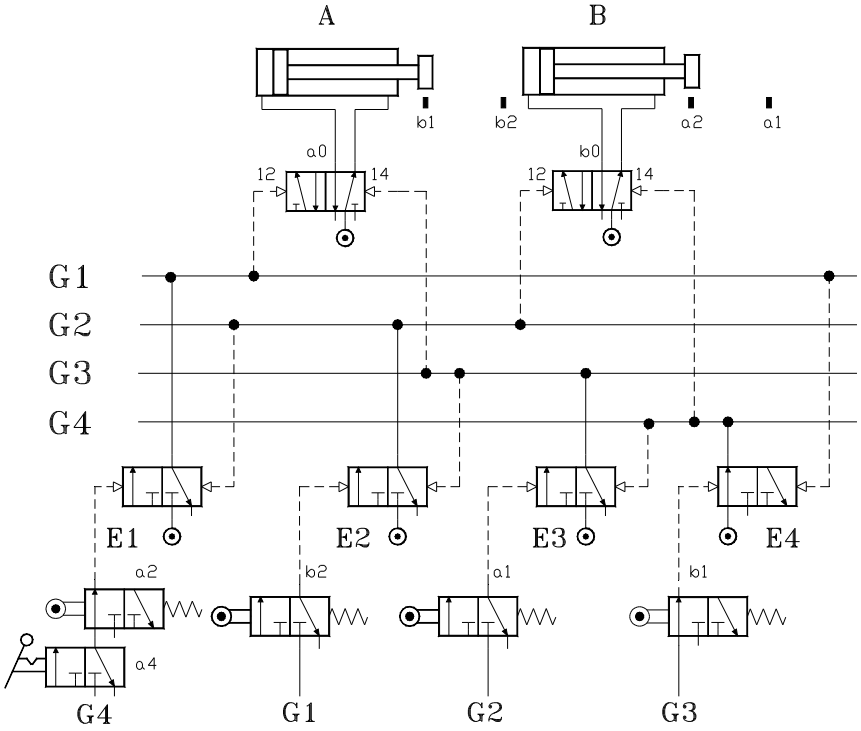
Considere a seqüência **A+ B+ A - B-** . Dividiremos a seqüência de tal modo que cada passo fique isolado e componha um grupo, alimentado por uma válvula de troca. de modo que, em cada grupo só tenhamos movimentos de cilindros diferentes, ou seja cada passo um grupo.

A+ **B+** **A -** **B-**
1 / **2** / **3** / **4**

Cada grupo ***n*** ao ser alimentado repõe a válvula ***en-1***, que alimenta o grupo anterior, bem como pressuriza a válvula de fim de curso que pilotará a ***en+1***.

A+	B+	A-	B-
1	2	3	4
a2	b2	a1	b1

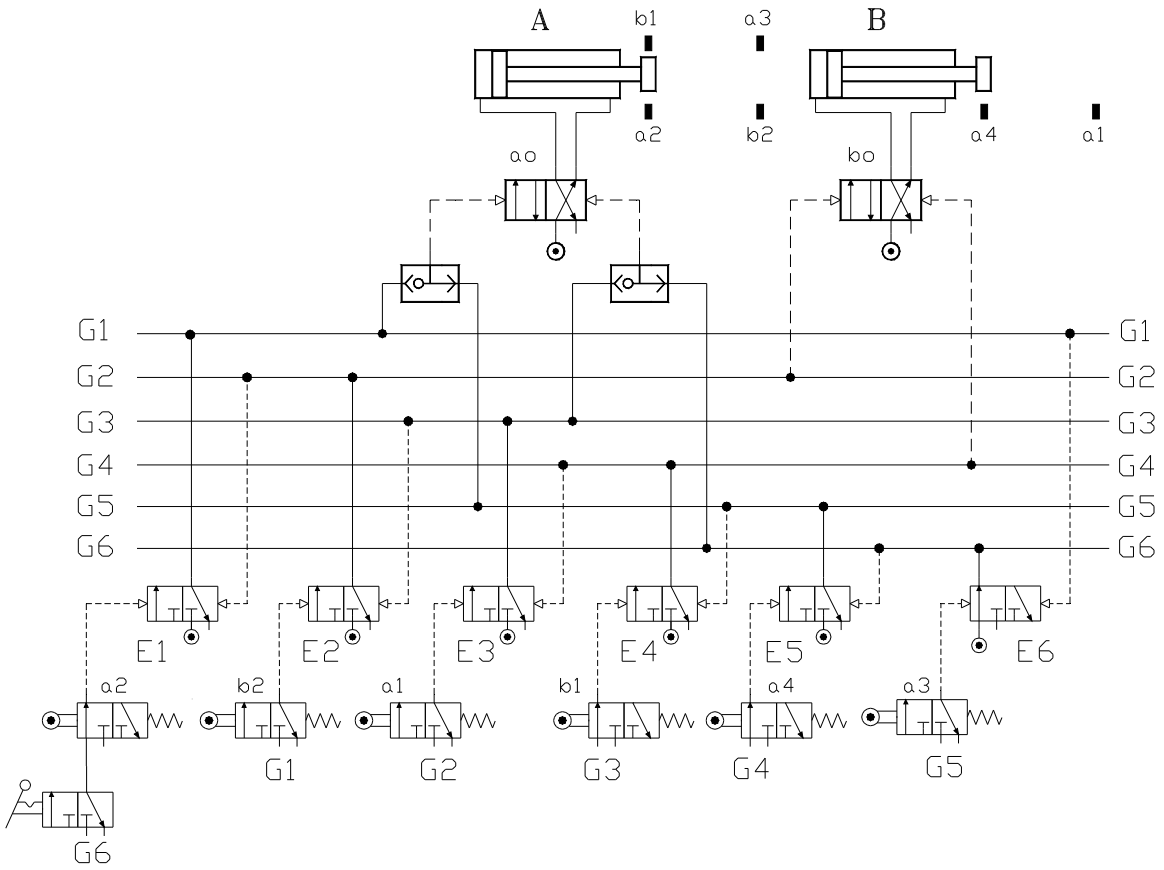
SEQÜÊNCIA A+ B+ A - B-



EXEMPLO:

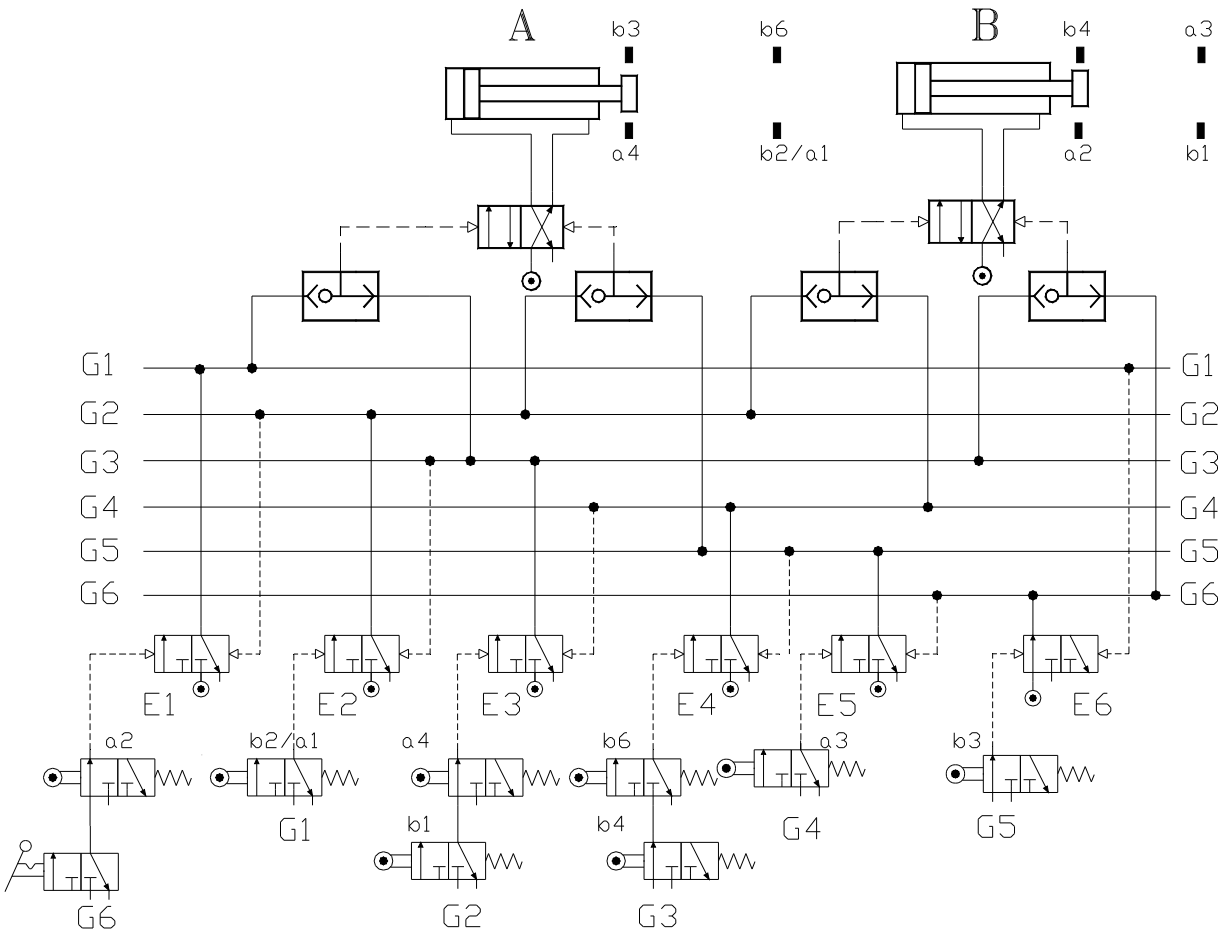
SEQUENCIA - A+ B+ A - B- A+ A - ...

A+ B+ A - B- A+ A - ... 6 grupos ⇒ 6 válvulas de troca
1 2 3 4 5 6

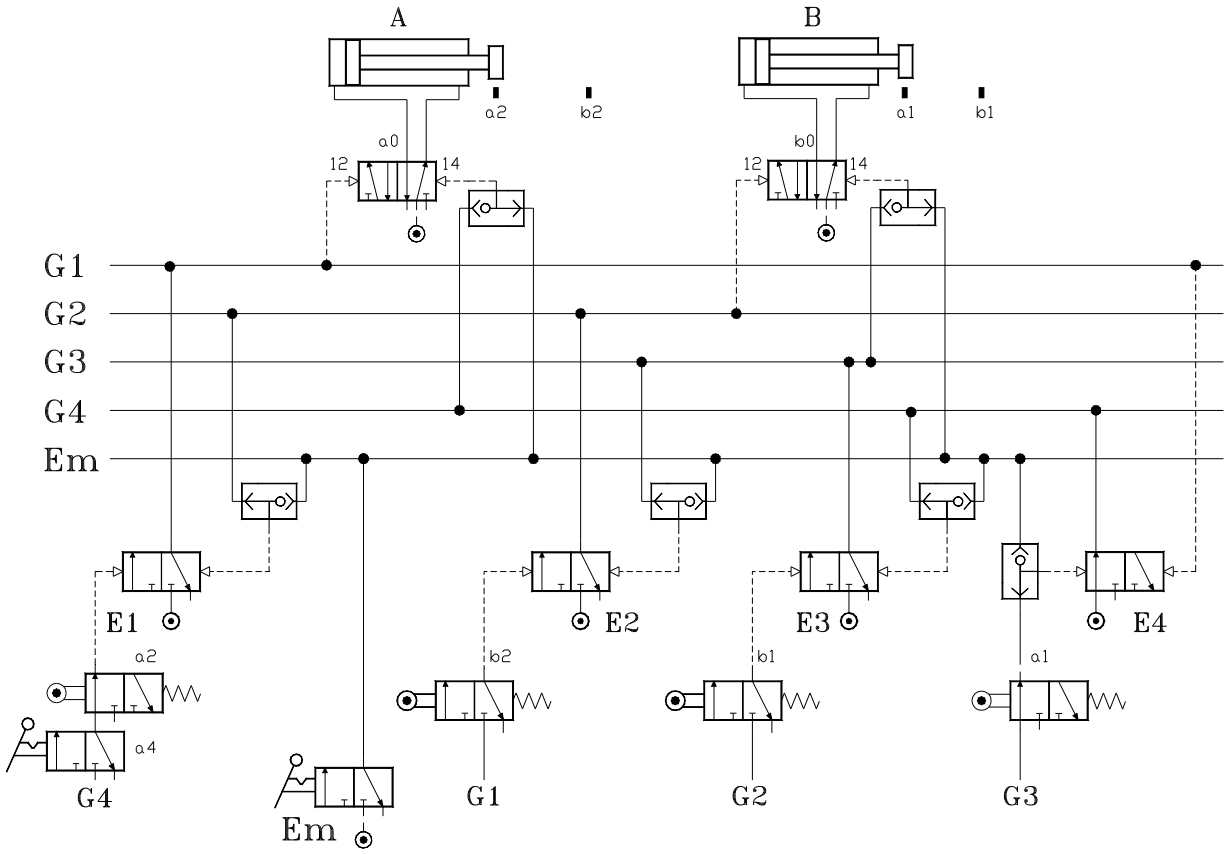


SEQUENCIA - A+ (B+ A -) (B- A+) B+ A - B- ...

A+ / (B+ A -) / (B- A+) / B+ / A - / B- ... 6 grupos ⇒ 6 válvulas de troca
1 2 3 4 5 6


A
b3
a4
b6
b2/a1
B
b4
a2
a3
b1
G1
G2
G3
G4
G5
G6
E1
E2
E3
E4
E5
E6
a2
b2/a1
a4
b6
a3
b3
G1
b1
b4
G4
G5
G6
G2
G3

SEQUENCIA - A+ B+ B – A – ...
com emergência



3.8.3.2 Método cascata

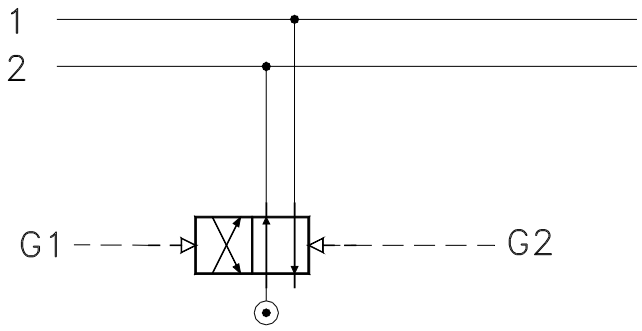
O método cascata consiste no agrupamento dos passos, de modo que cada grupo seja composto de movimentos seqüencialmente vizinhos e de cilindros diferentes. Emprega memórias RS em série para ativar cada grupo, e também pode ser empregado usando pneumática pura, eletropneumática (onde é chamado seqüência mínima) ou CLP.

Considere a seqüência **A+ B+ B- A-**... . Dividiremos a seqüência em grupos, de modo que cada grupo seja composto de movimentos consecutivos de cilindros diferentes.

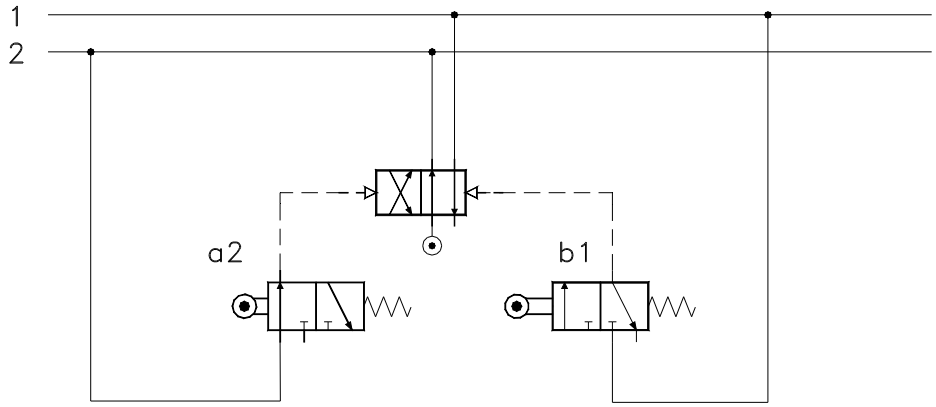
Seqüência	**A+ B+**	**B- A-**
Grupos	**1**	**2**

O número de válvulas de troca é igual ao número de grupos menos 1 (Nvt = Ng - 1).

A seguir montamos as válvulas de troca, segundo a disposição abaixo:



Os pilotos **G1** e **G2** são acionados pelas válvulas de fim de curso correspondentes aos primeiros movimentos de cada grupo, respectivamente **a2** e **b1**. Essas válvulas recebem alimentação dos grupos anteriores ao que se encontram. Assim **a2** é alimentada pelo grupo **2** e **b1** pelo grupo **1**.

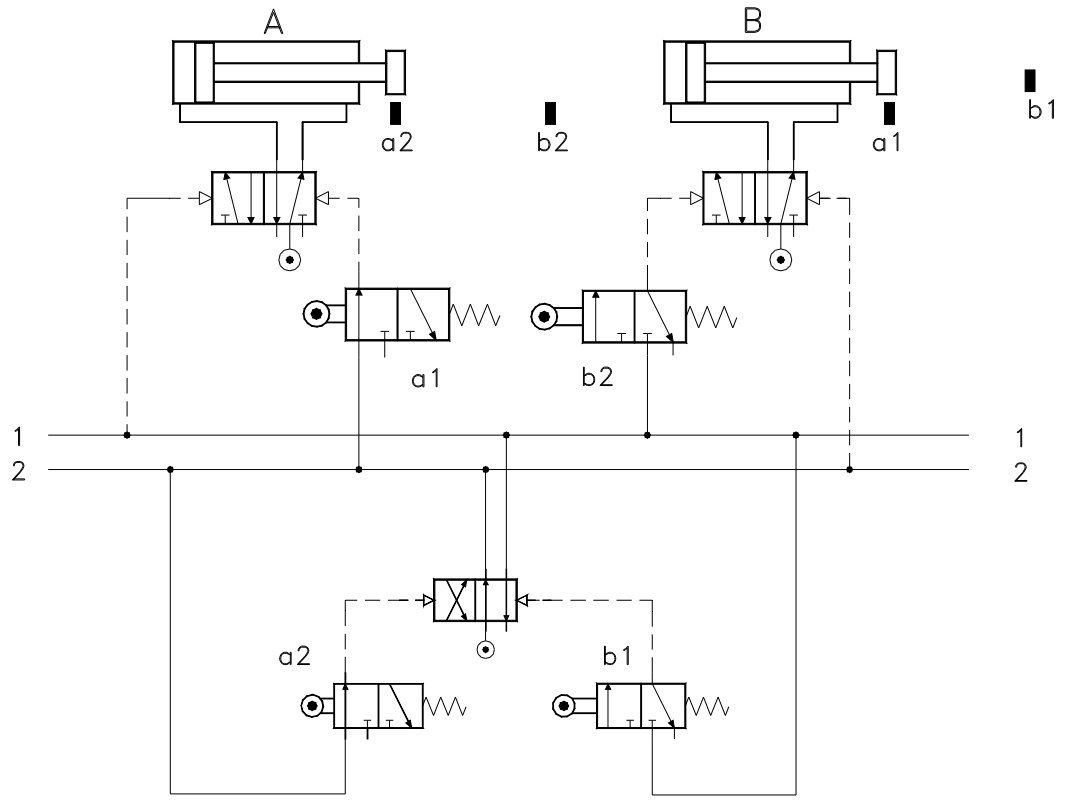


Nas válvulas de comando, os pilotos correspondentes aos primeiros movimentos de cada grupo são alimentados diretamente pelos respectivos grupos

As válvulas **b2** e **a1** são colocadas entre as válvulas de comando e os grupos e pressurizadas pelo grupo em que se encontram.

A tabela seguinte resume a disposição das válvulas de fim de curso.

Seqüência	A+ B+		B- A-	
Outros sensores		b2		a1
Grupos	1		2	
Sensores dos primeiros movimentos	a2		b1	



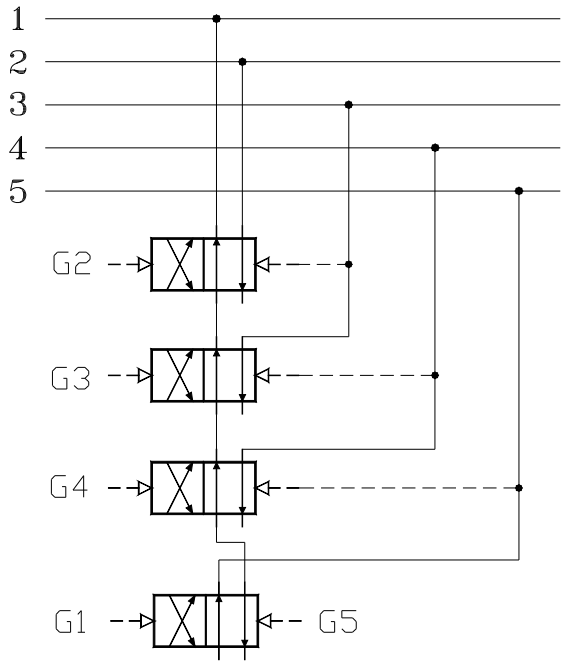
Exemplo 2:

Considere a seqüência **A+ A- B+ B- C+ C- D+ D-**... . Dividiremos a seqüência em grupos, de modo que cada grupo seja composto de movimentos consecutivos de cilindros diferentes.

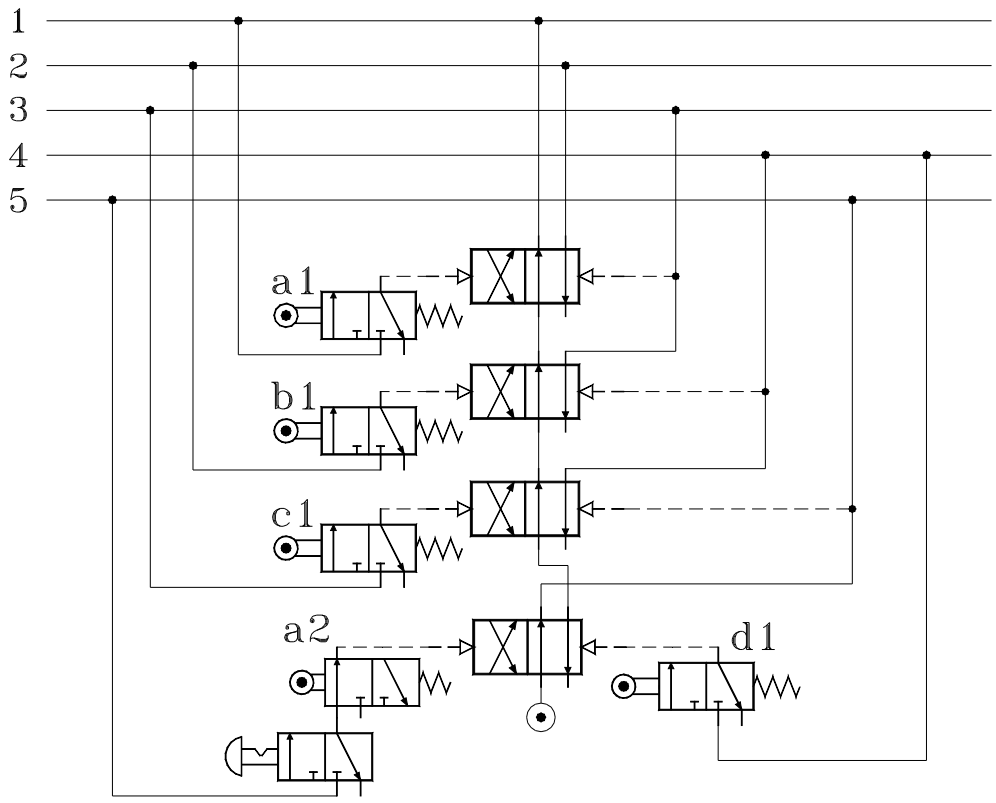
Seqüência	**A+**	**A- B+**	**B- C+**	**C- D+**	**D-**
Grupos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**

O número de válvulas de troca é igual ao número de grupos menos 1 (Nvt = Ng - 1).

A seguir montamos as válvulas de troca, segundo a disposição seguinte:



Os pilotos **G1, G2, G3, G4** e **G5** são acionados pelas válvulas de fim de curso correspondentes aos primeiros movimentos de cada grupo, respectivamente **a2, a1, b1, c1** e **d1**. Essas válvulas recebem alimentação dos grupos anteriores ao que se encontram. Assim **a2** é alimentada pelo grupo **5**, **a1** pelo grupo **1**, **b1** pelo grupo **2**, etc.



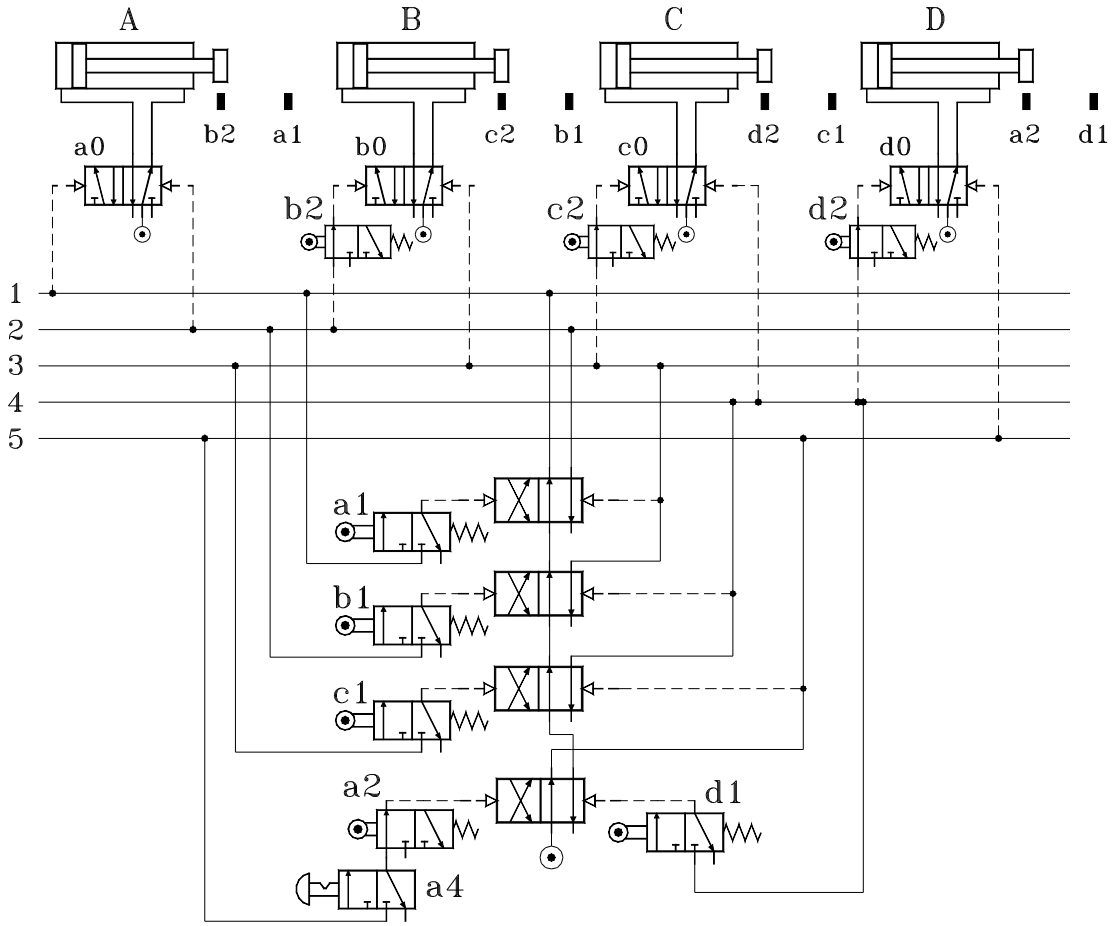
Nas válvulas de comando, os pilotos correspondentes aos primeiros movimentos de cada grupo são alimentados diretamente pelos respectivos grupos

As válvulas **b2, c2** e **d2** são colocadas entre as válvulas de comando e os grupos e pressurizadas pelo grupo em que se encontram.

A tabela abaixo resume a disposição das válvulas de fim de curso.

Seqüência	**A+**	**A- B+**		**B- C+**		**C- D+**		**D-**
Outros sensores			**b2**		**c2**		**d2**	
Grupos	**1**	**2**		**3**		**4**		**5**
Sensores dos primeiros movimentos	**a2**	**a1**		**b1**		**c1**		**d1**

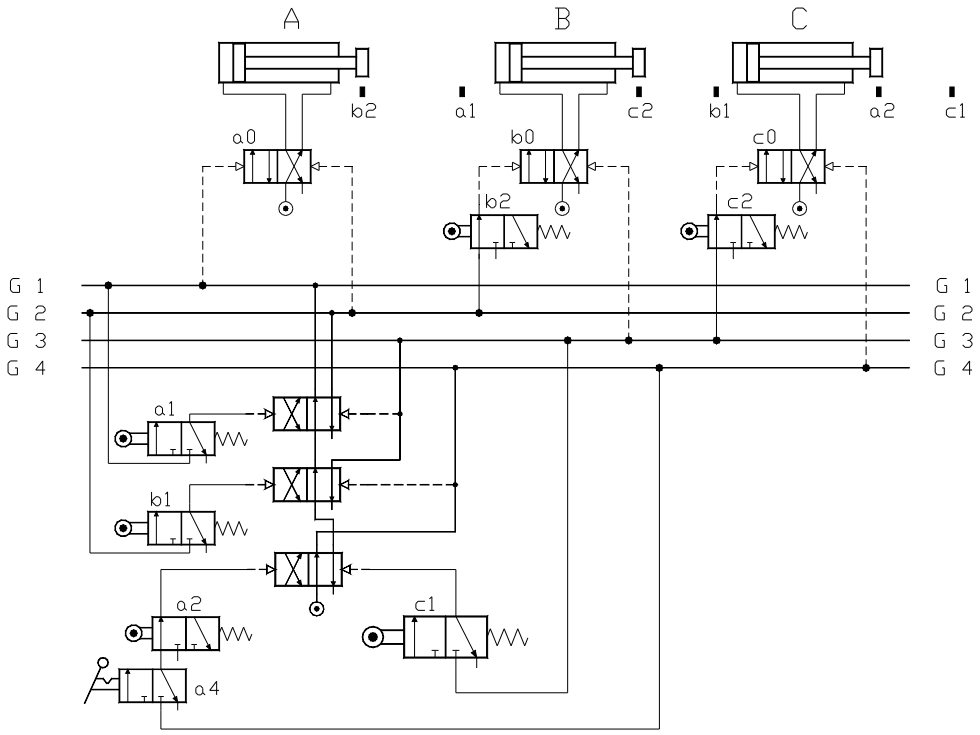
SEQÜÊNCIA - A+ A- B+ B- C+ C- D+ D-...



Exemplo 3:

Seqüência - A+ A - B+ B- C+ C- ...

A+	A- B+	B- C+	C- ... 4 grupos ⇒ 3 válvulas de troca
	b2	c2	
1	2	3	4
a2	a1	b1	c1

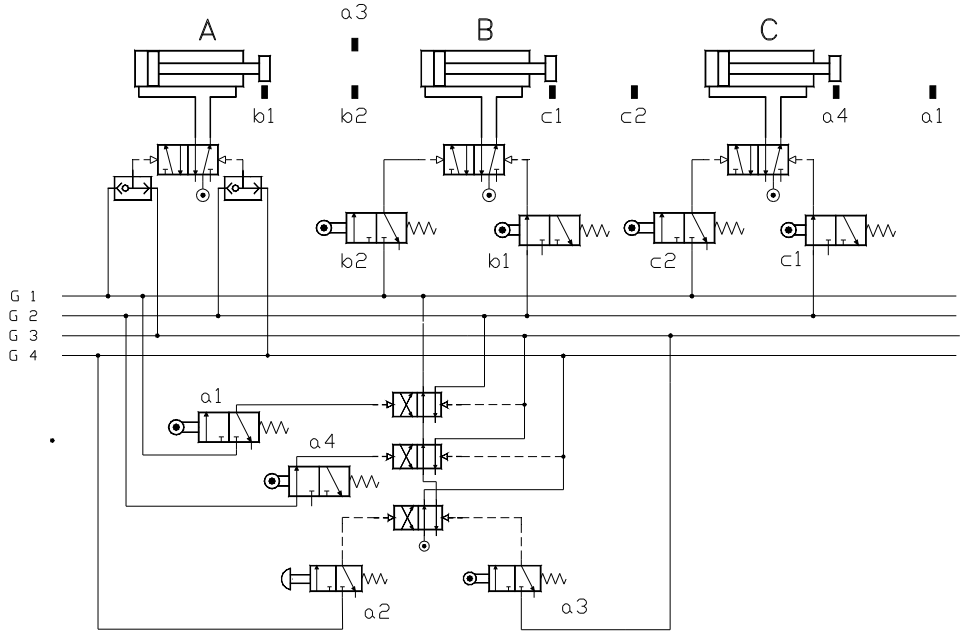


Exemplo 4:

Seqüência A+ B+ C+ A- B- C- A+ A- , ciclo único

4 grupos ⇒ 3 válvulas de troca

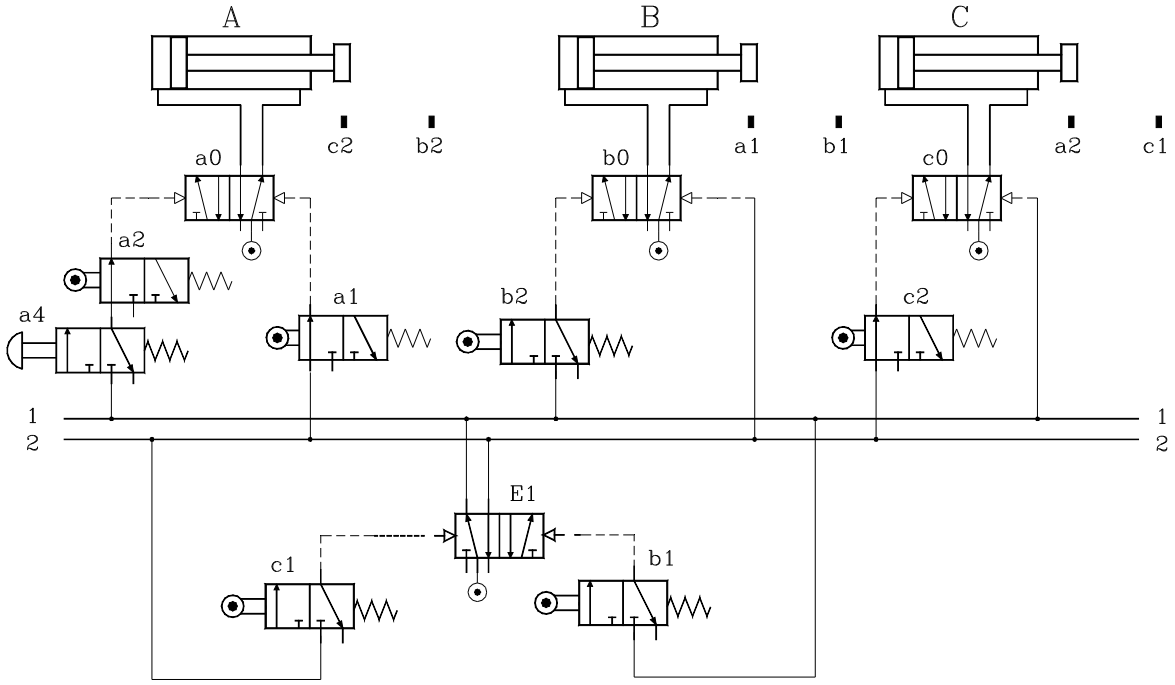
Seqüência	A+	B+	C+	A-	B-	C-	A+	A-
Outros sensores		b2	c2		b1	c1		
Grupos	1			2			3	4
Sensores dos primeiros movimentos	a2			a1			a4	a3



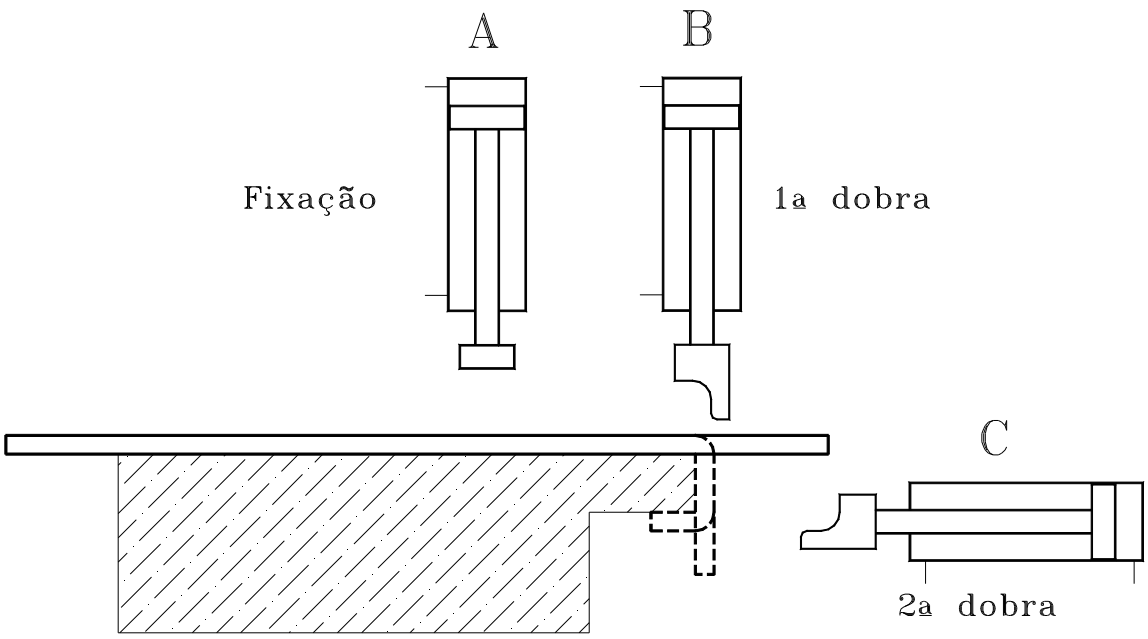
O método cascata pode ser mais econômico ainda, dependendo da seqüência. Quando os movimentos do primeiro e do último grupo da seqüência são de cilindros diferentes, considera-se que todos fazem parte do primeiro grupo e este começa pressurizado. Assim, economiza-se uma válvula de troca e o circuito fica mais "enxuto". (Veja este circuito implementado com eletropneumática na página 144).

Seqüência A+B+B-A-C+C-...,
com apenas uma válvula de troca

Seqüência	C-	A+	B+	B-	A-	C+
Outros sensores		a2	b2		a1	c2
Grupos	1			2		
Sensores dos primeiros movimentos	c1			b1		



Exemplo: Dispositivo para dobrar chapas (seqüência 2 do exercício)



Exercícios:

Faça a representação das seqüências abaixo pelos métodos passo a passo e cascata

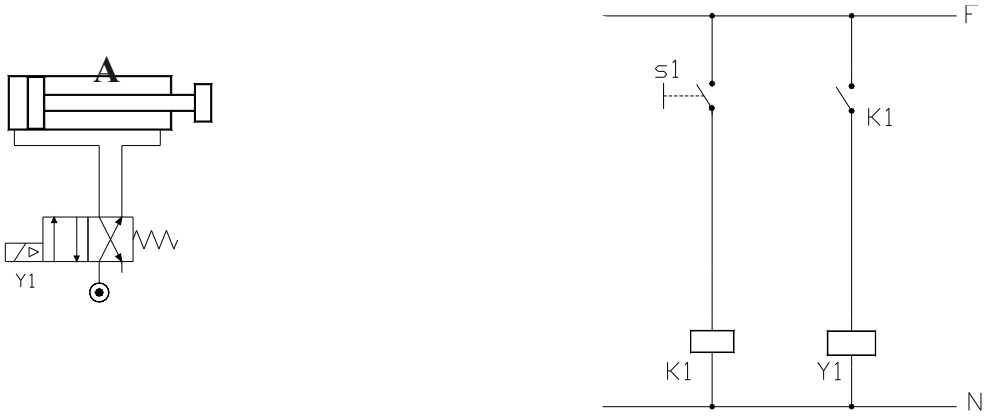
1. **A+ B+ A - B- C+ C- ...**
2. **A+ B+ B- C+ C- A - ...**
3. **A+ B+ C+ B- A - C- ...**
4. **A+ B+ C+ (B- C-) A -...**
5. **A+ (B+ A -) C+ C- B-...**
6. **A+ (B+ A -) (C+ B-) C- ...**
7. **A+ A -B+ B- C+ C- ...**
8. **A+ A -B+ C+ C- B-...**
9. **A+ A -B+ C+ B- C- ...**
10. **A+ B+ B- A - C+ C-...**
11. **A+ (B+ A -) (C+ B-) C- A+ A ...**
12. **A+ B+ B- C+ C- B+ B- A - ...**
13. **A+ B+ A - A+ A - B- ...**
14. **A+ B+(B- A -) B+(B- A+) A - ...**

Capítulo 4 - ELETROPNEUMÁTICA

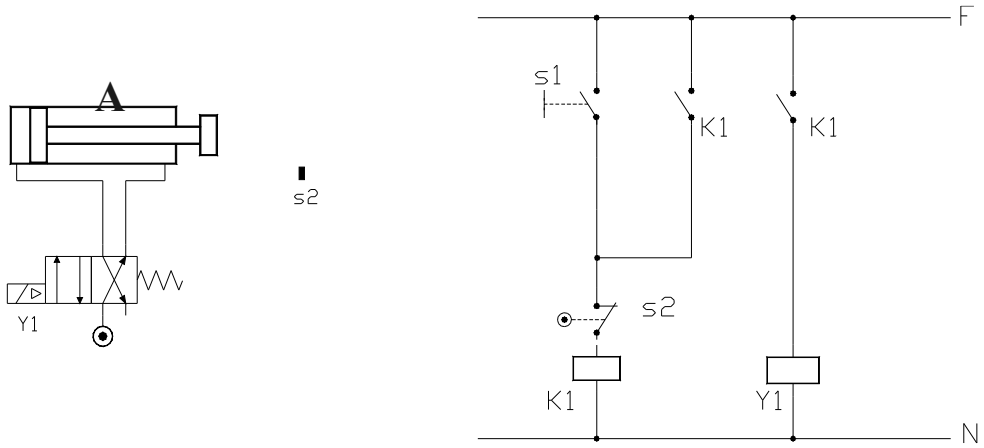
4.1 Emprego de relés

4.1.1 Relés auxiliares

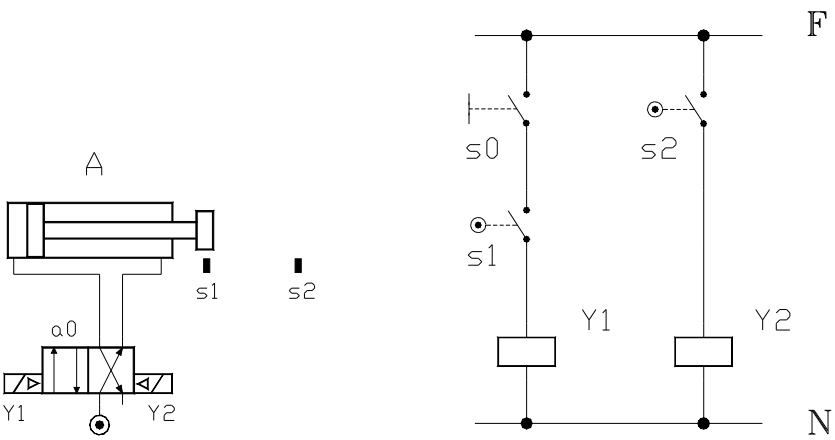
Acionamento manual



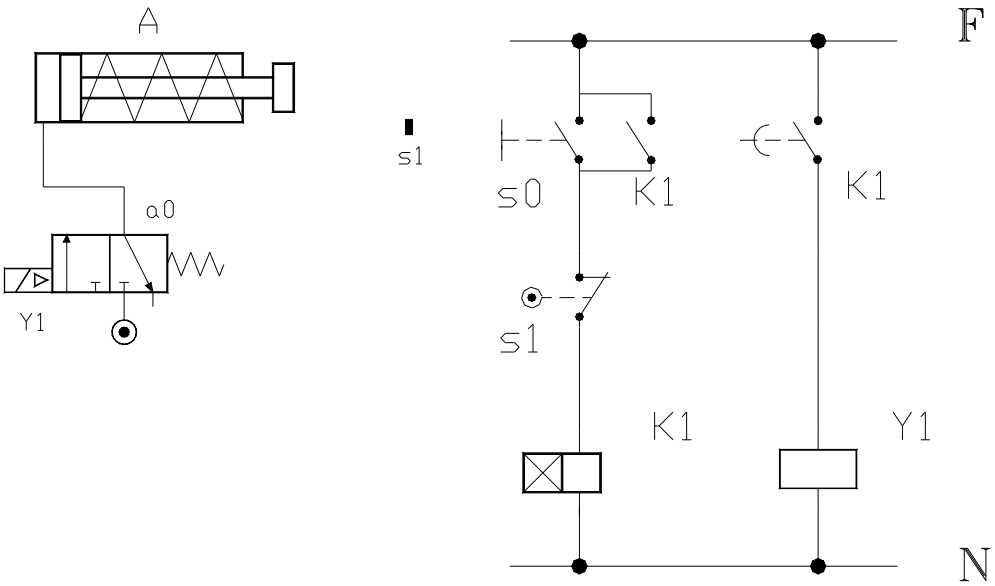
Acionamento manual - ciclo único



Acionamento manual - ciclo contínuo

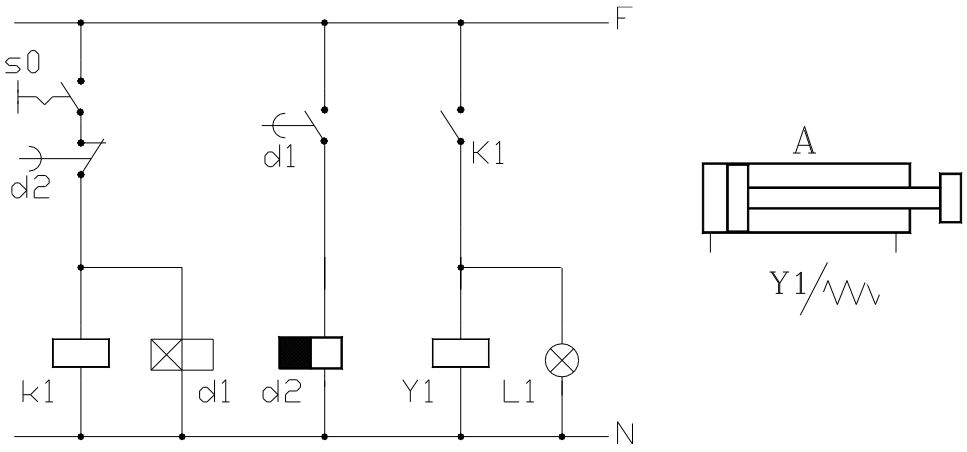


4.1.2 Emprego de relés de tempo



4.1.3 Circuito com temporização nos finais de curso.

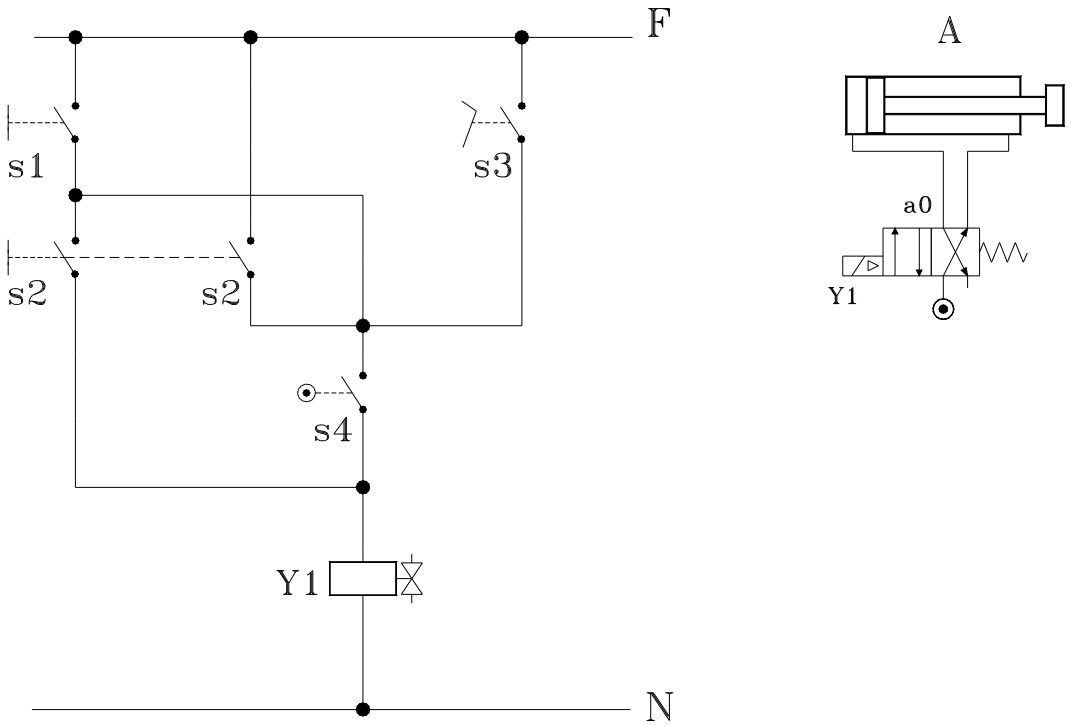
A+ T_1 A- T_2 ...
(sem chaves de fim de curso)



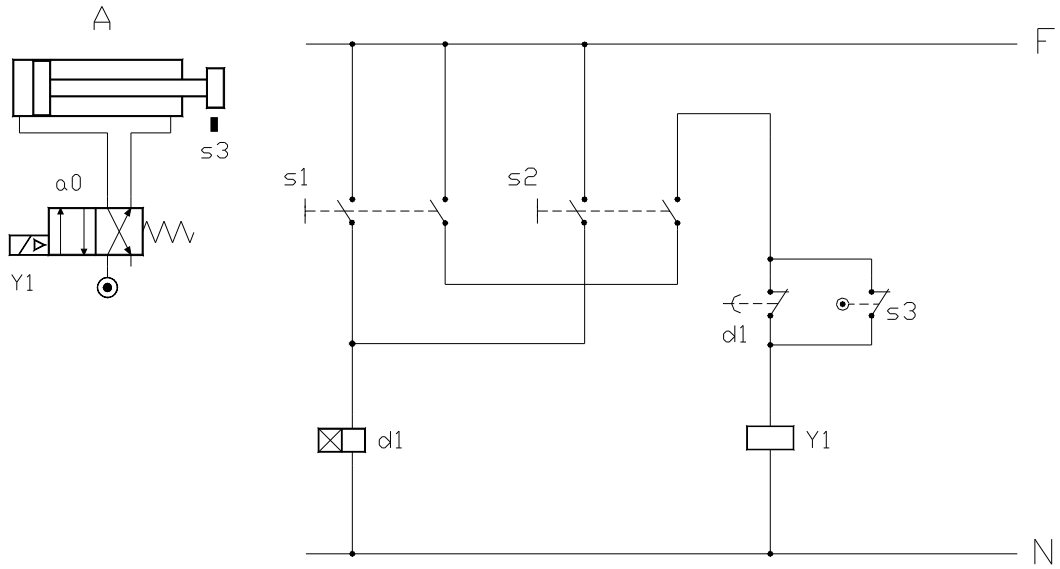
Os tempos de permanência no avanço e no retorno são ajustados pelos relés de tempo d1 e d2, respectivamente.

4.2 Circuitos combinacionais

O comando do cilindro de uma, prensa deve ser feito através de 04 chaves (s1, s2,s3 e s4), de modo que o pistão só avançe se forem satisfeitas as condições explicitadas na pag. 49



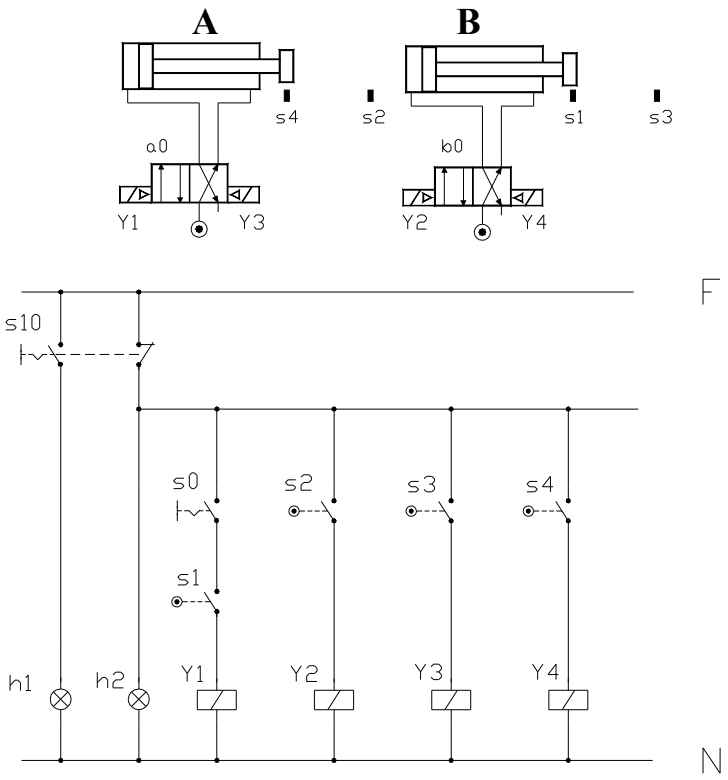
4.2.1 Comando bimanual de segurança



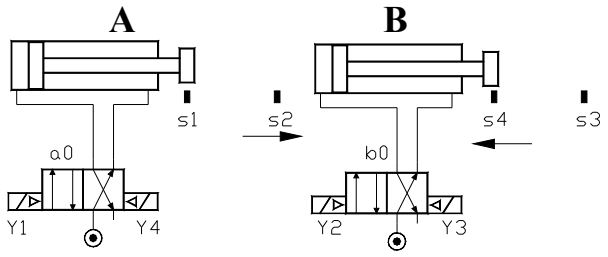
4.3 Circuitos Seqüenciais

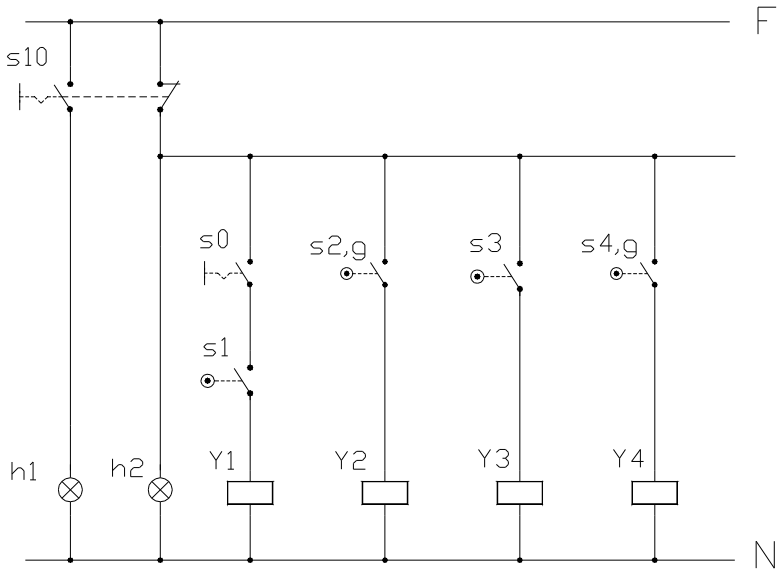
4.3.1 Método Intuitivo

Seqüência A+ B+ A - B- ...

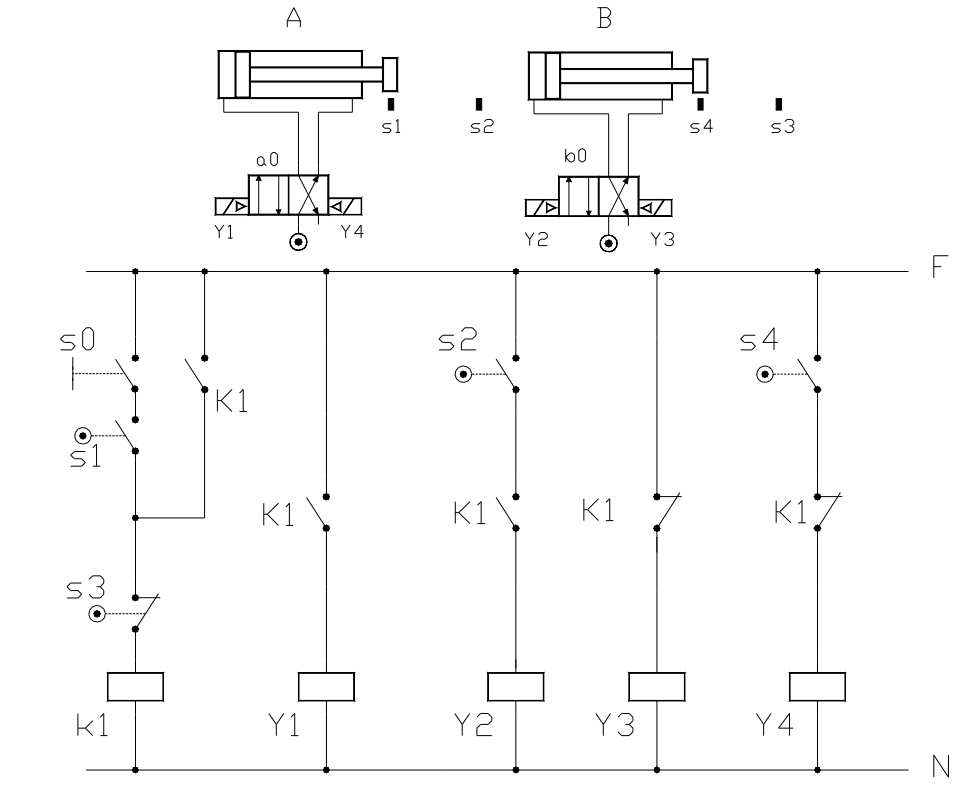


Seqüência A+ B+ B- A - ...

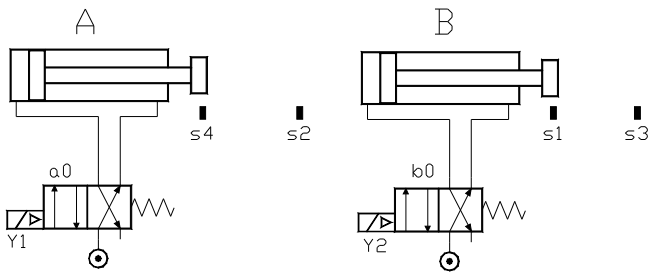


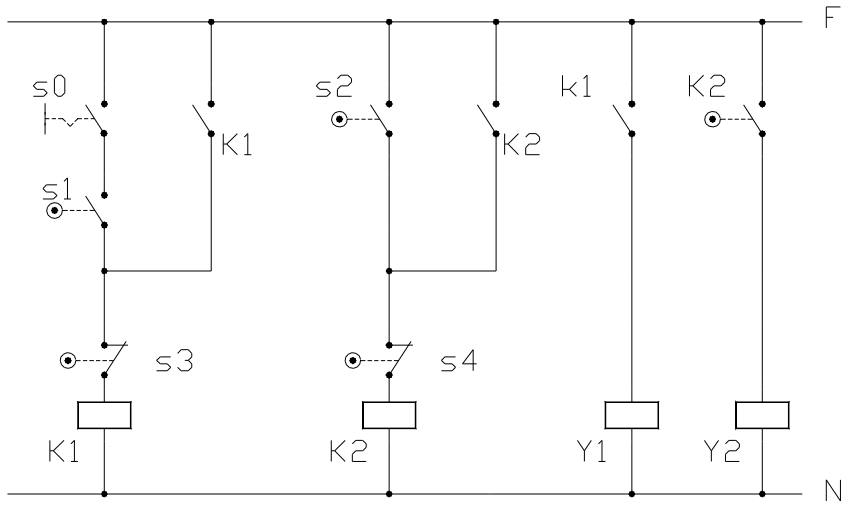


Seqüência A+ B+ B- A - ... S/ Gatilho

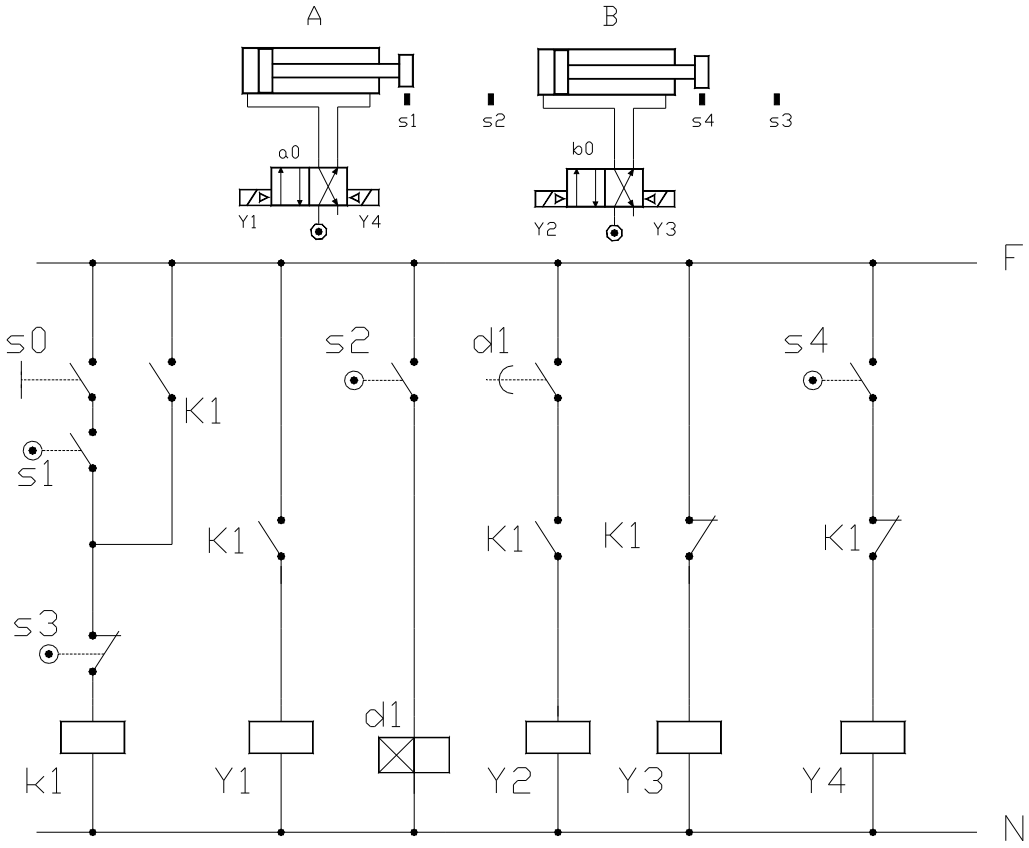


Seqüência A+ B+ A - B- ...

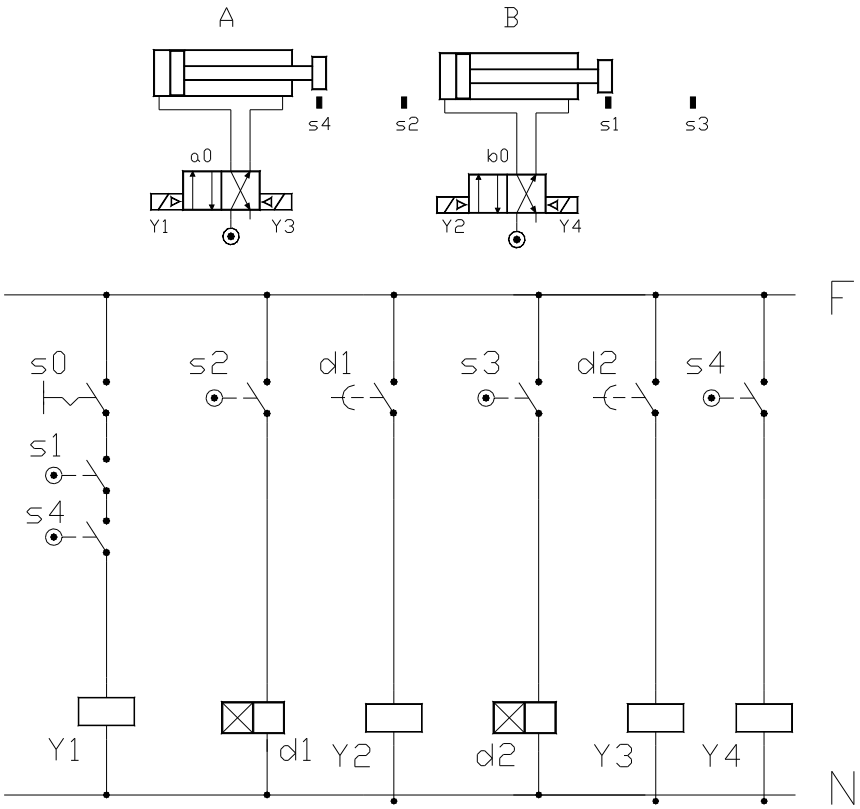




Seqüência A+ B+ T B- A -...

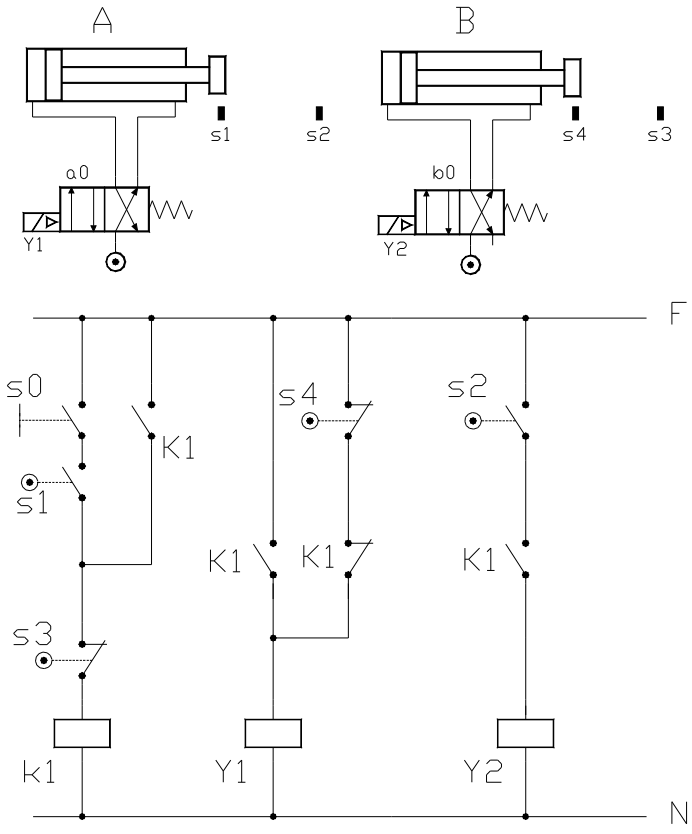


Seqüência A+ T_1 B+ T_2 A - B- ...



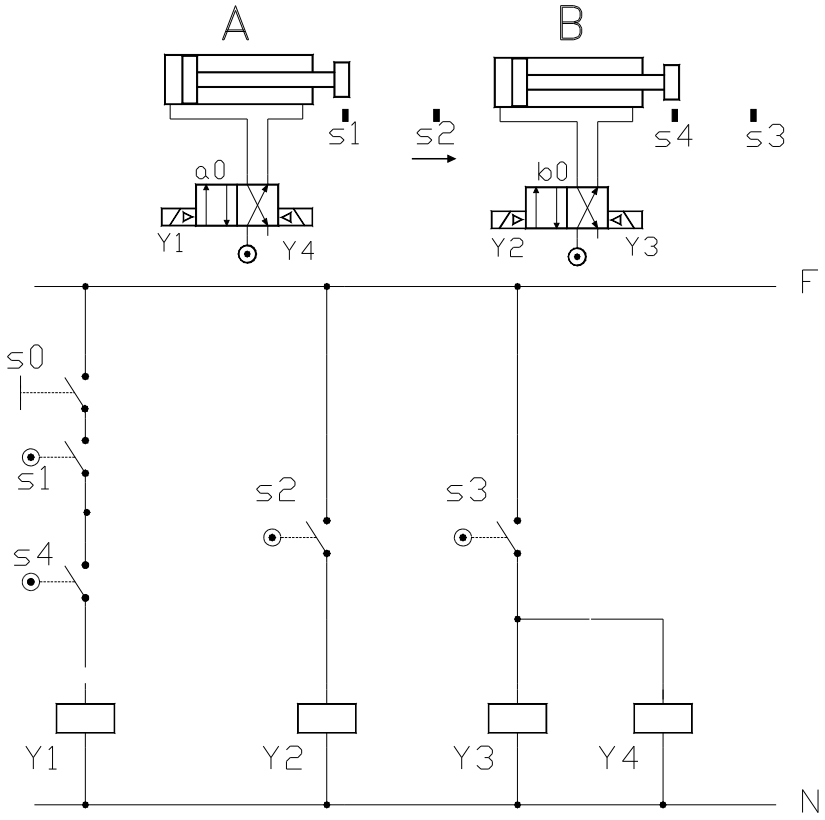
Seqüência A+ B+ B- A - ..

Método intuitivo, com válvulas de simples solenóide

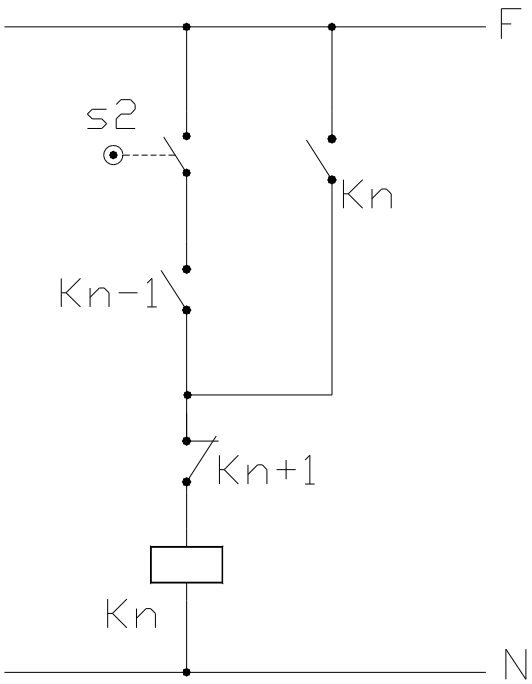


Seqüência A+ B+ (A - B-) ...

Método gatilho, com válvulas de duplo solenóide



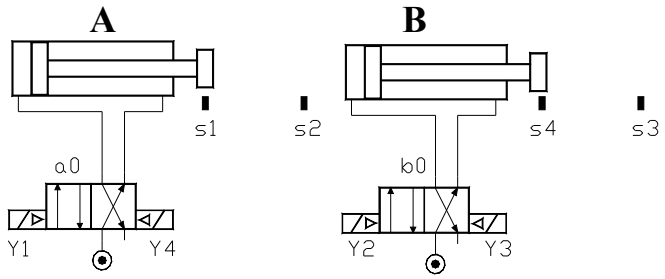
4.3.2 Método Passo a Passo

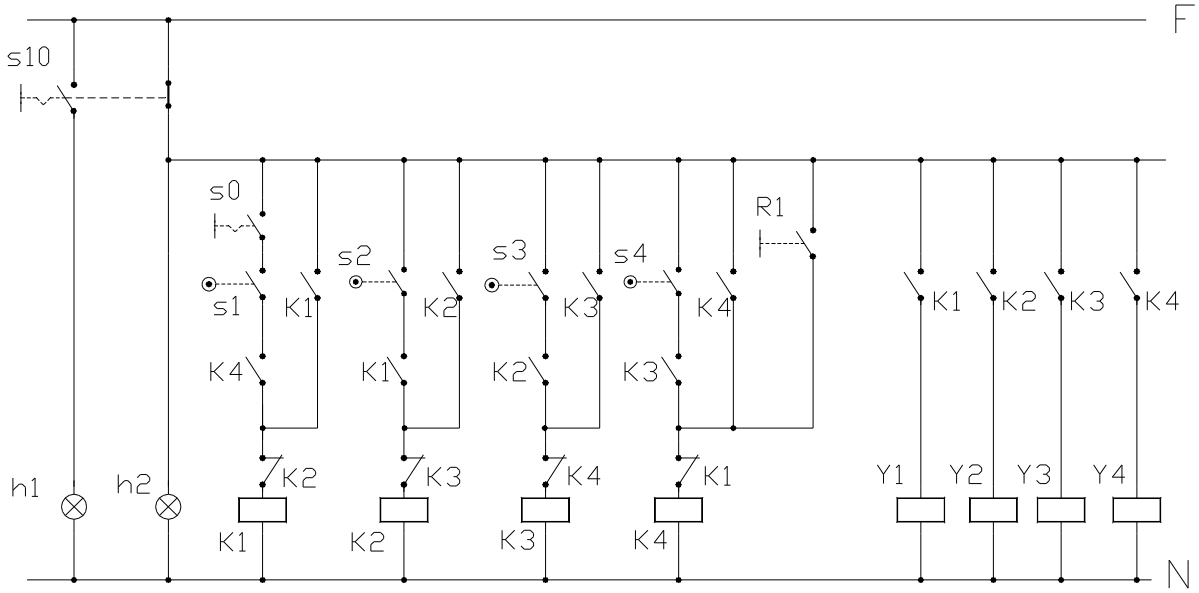


Assim como na pneumática, esta técnica pode ser utilizada para a resolução de qualquer tipo de seqüência, notadamente para as indiretas ou aquelas com repetição de movimentos de algum atuador.

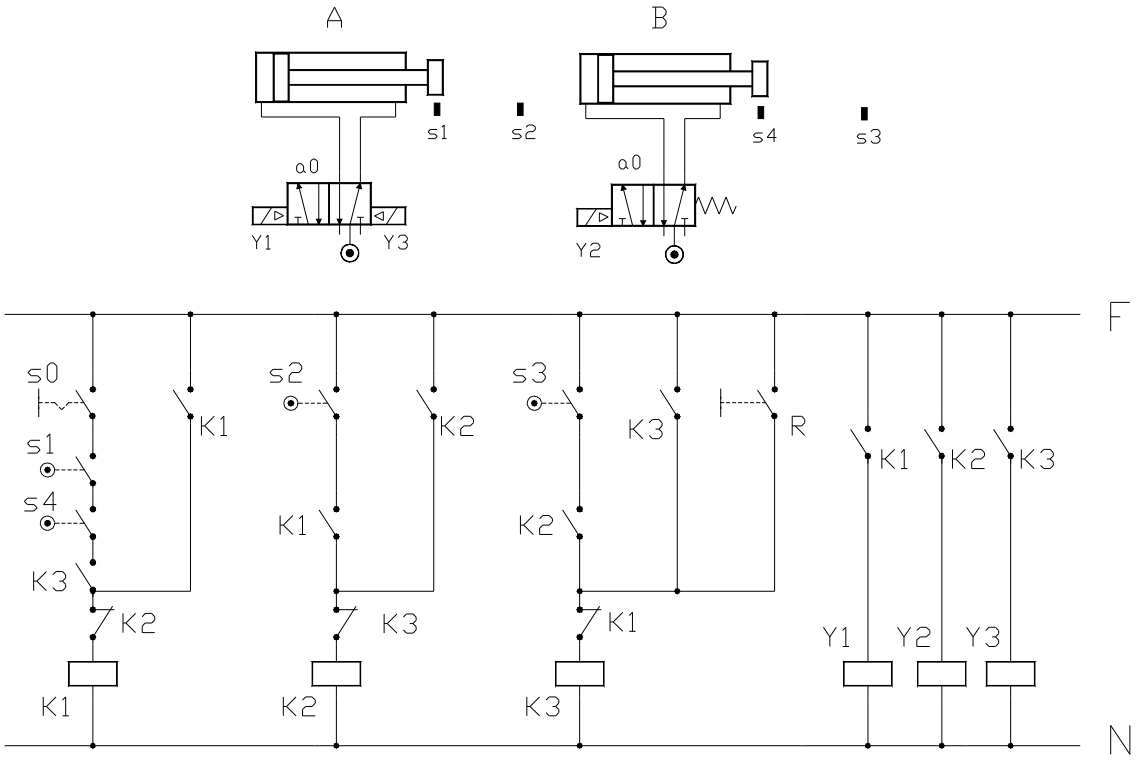
Com a ajuda de auxiliares (relés ou flags) como memória, o sistema é montado de tal modo que cada passo 'n' ao ser ativado habilita o próximo e desabilita o anterior, conforme esquema ao lado.

Seqüência A+ B+ B- A - ...

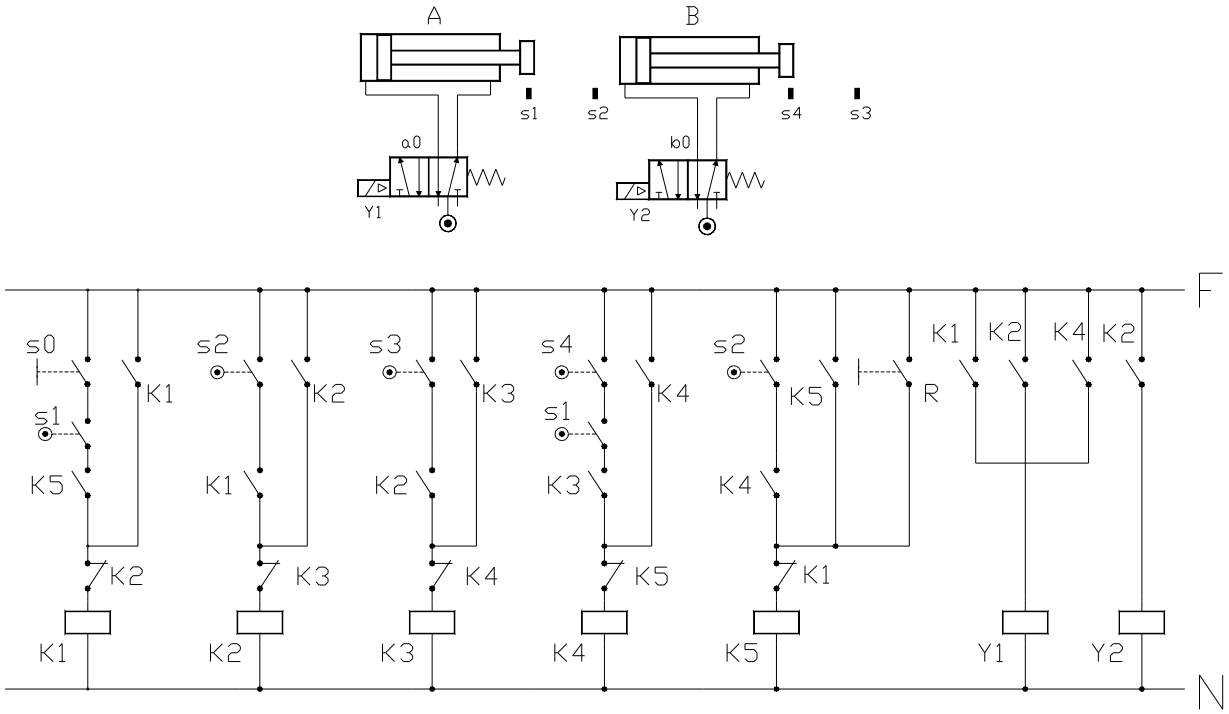




Seqüência A+ B+ (A - B-)...



Seqüência A+ B+ (A - B-) A+ A - ...



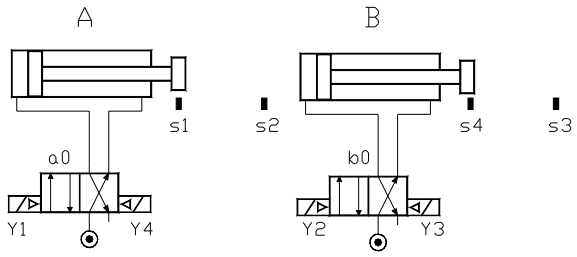
4.3.3 Método Cascata

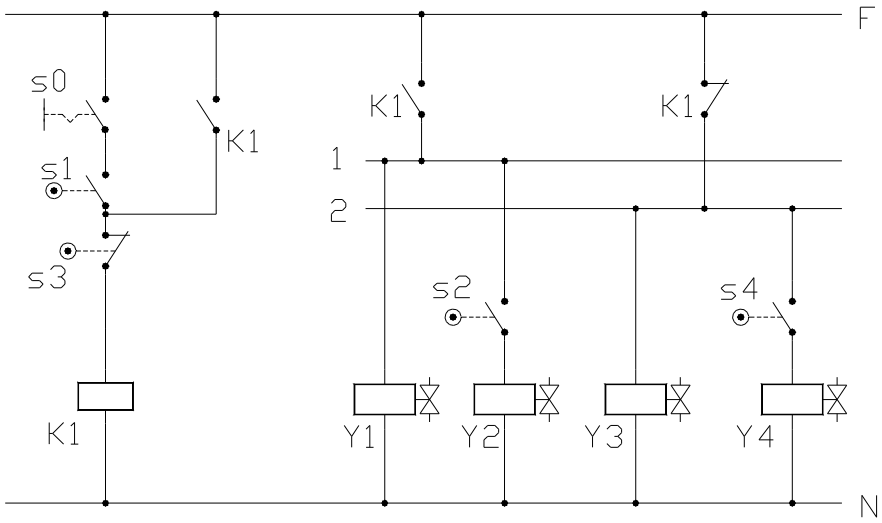
Assim como na pneumática pura, dividiremos a sequência em grupos, de modo que cada grupo seja composto de movimentos de cilindros diferentes, conforme visto a seguir:

	A+	**A - B+**		**B- C+**		**C- A+**		**A -**
1		**2**		**3**		**4**		**5**

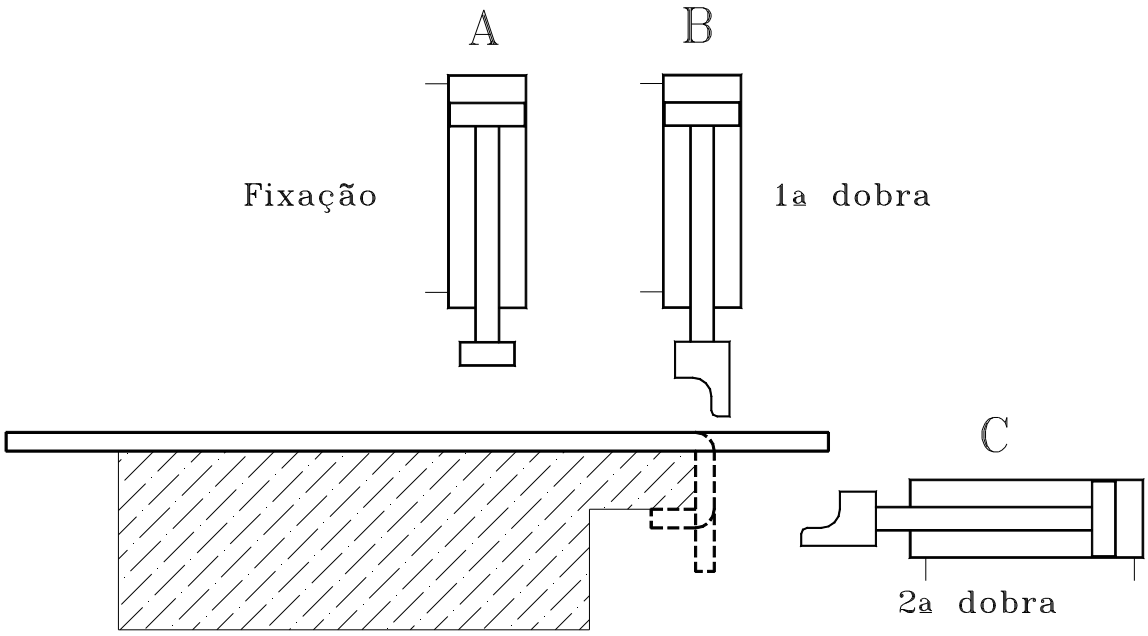
O número de relés é igual ao número
de grupos menos 1 (Nr = Ng - 1).

Exemplo:
Seqüência A+ B+ B- A -...

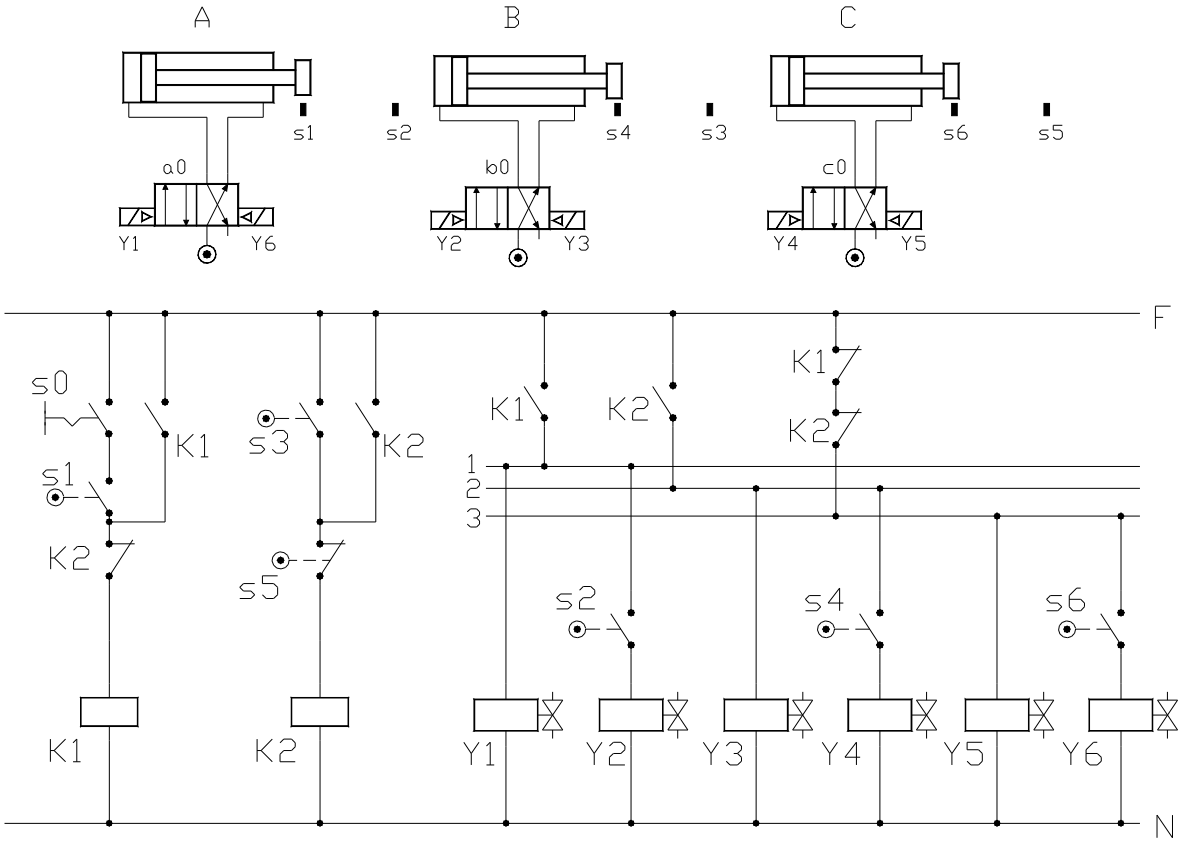




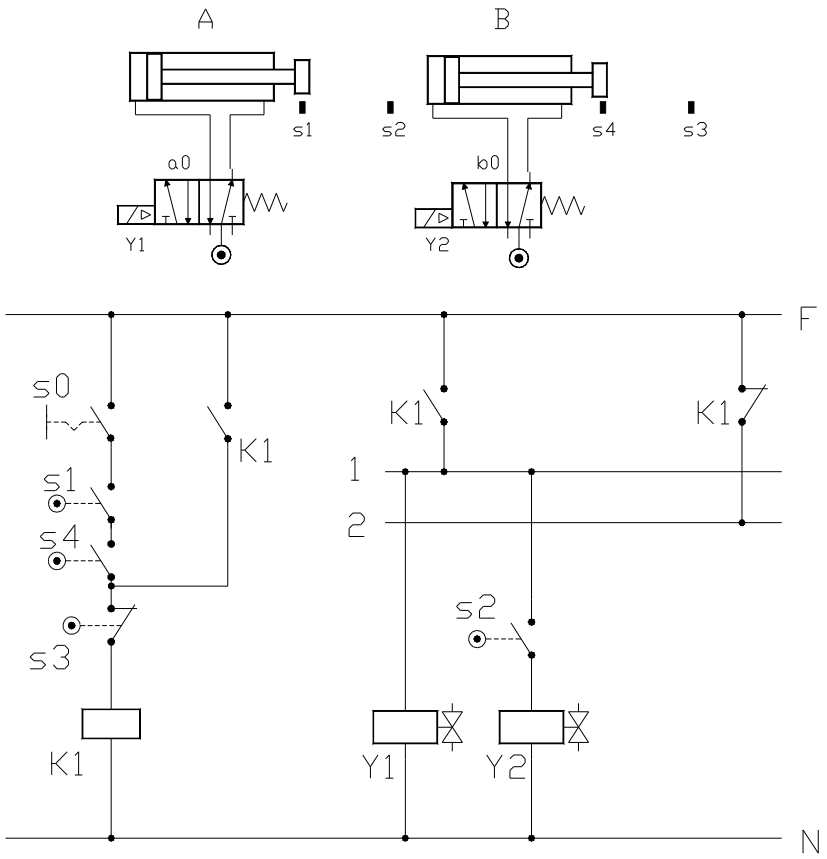
Exemplo: Dispositivo para dobrar chapas



Seqüência A+ B+ B- C+ C- A -...

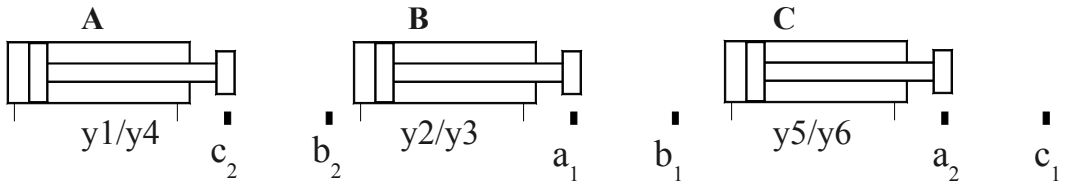


Seqüência A+ B+ (A - B-) ...

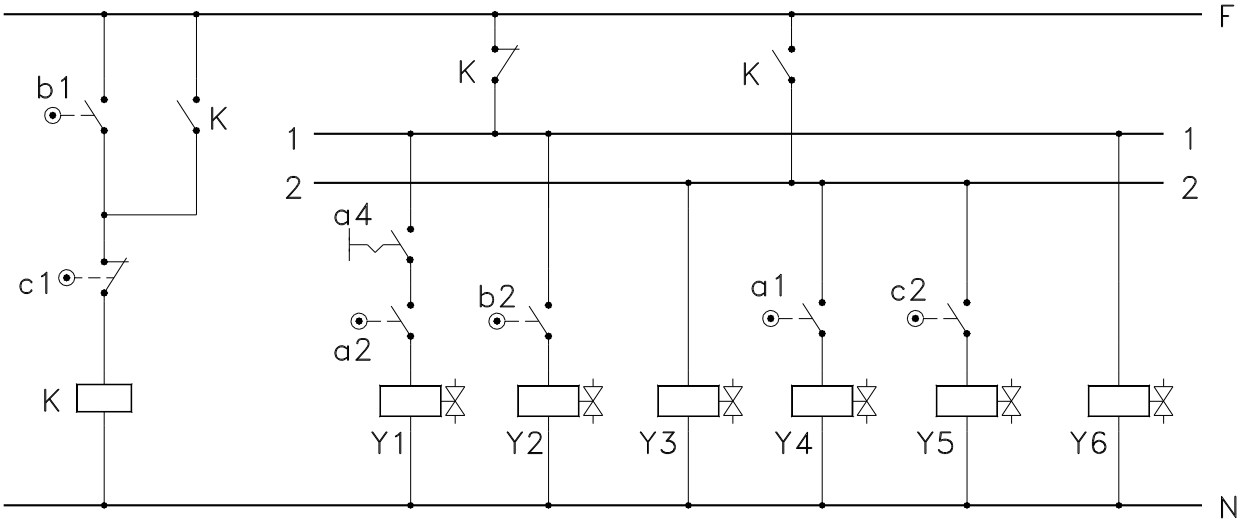


Assim como na pneumática, quando os movimentos do primeiro e do último grupo são de cilindros diferentes, considera-se que todos fazem parte do primeiro grupo e este começa energizado.

Seqüência A+B+B-A-C+C-...,
com apenas um relé



Seqüência	C-	A+	B+	B-	A-	C+
Outros sensores		a2	b2		a1	c2
Grupos	1			2		
Sensores dos primeiros movimentos	c1			b1		



Exercício:

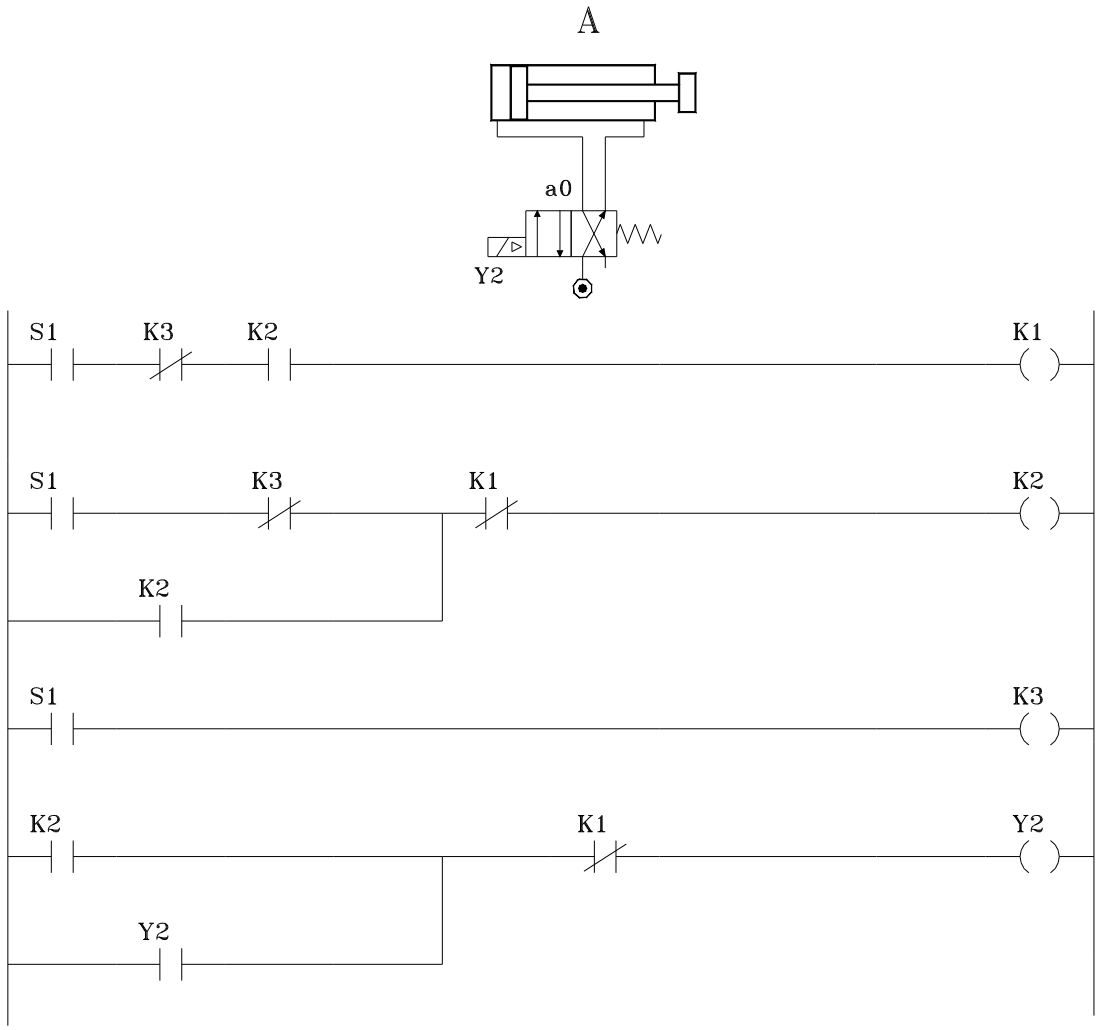
Faça a representação das seqüências abaixo pelos métodos passo a passo e cascata

1. **A+ B+ A - B- C+ C- ...**
2. **A+ B+ B- C+ C- A - ...**
3. **A+ B+ C+ B- A - C- ...**
4. **A+ B+ C+ (B- C-) A -...**
5. **A+ (B+ A -) C+ C- B-...**
6. **A+ (B+ A -) (C+ B-) C- ...**
7. **A+ A -B+ B- C+ C- ...**
8. **A+ A -B+ C+ C- B-...**
9. **A+ A -B+ C+ B- C- ...**
10. **A+ B+ B- A - C+ C-...**
11. **A+ (B+ A -) (C+ B-) C- A+ A ...**
12. **A+ B+ B- C+ C- B+ B- A - ...**
13. **A+ B+ A - A+ A - B- ...**
14. **A+ B+(B- A -) B+(B- A+) A - ...**

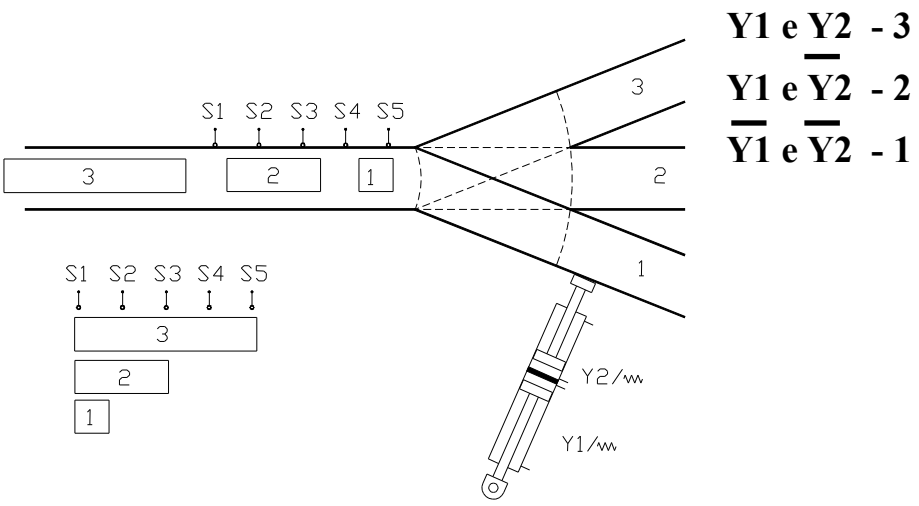
Capítulo 5 - ACIONAMENTOS ATRAVÉS DE CLP'S

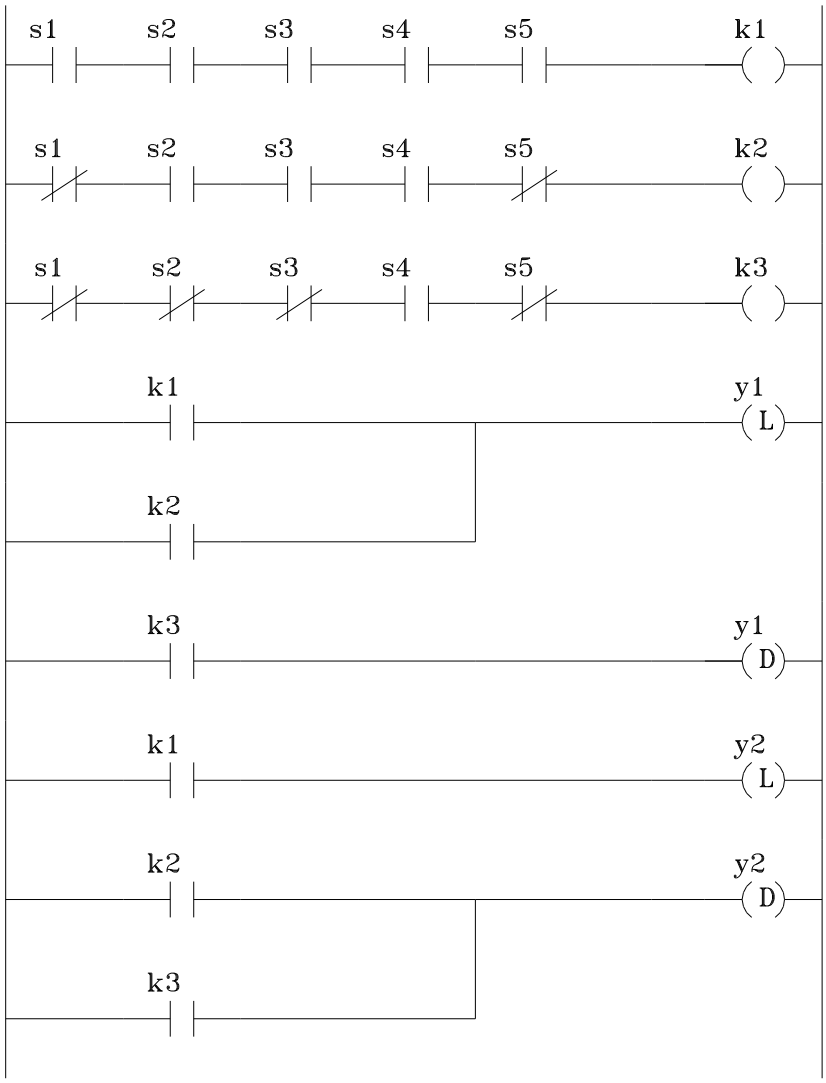
Chave liga -desliga

Exemplo de chave tipo impulso, utilizada como chave liga - desliga.



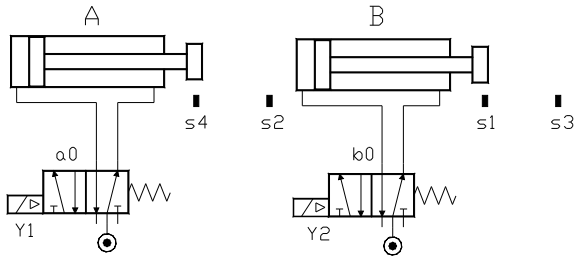
Exemplo de seleção entre três peças, utilizando-se cinco sensores

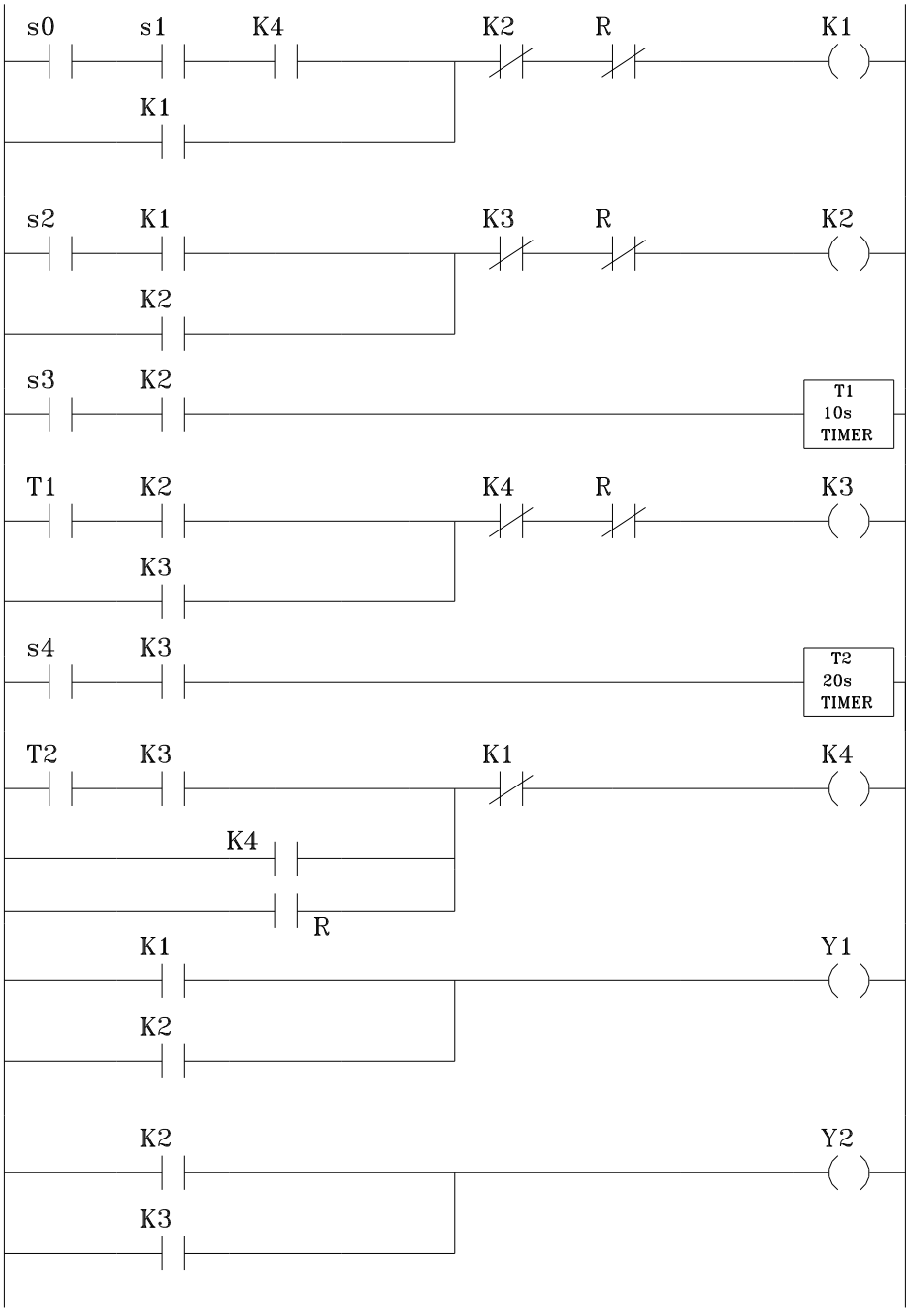




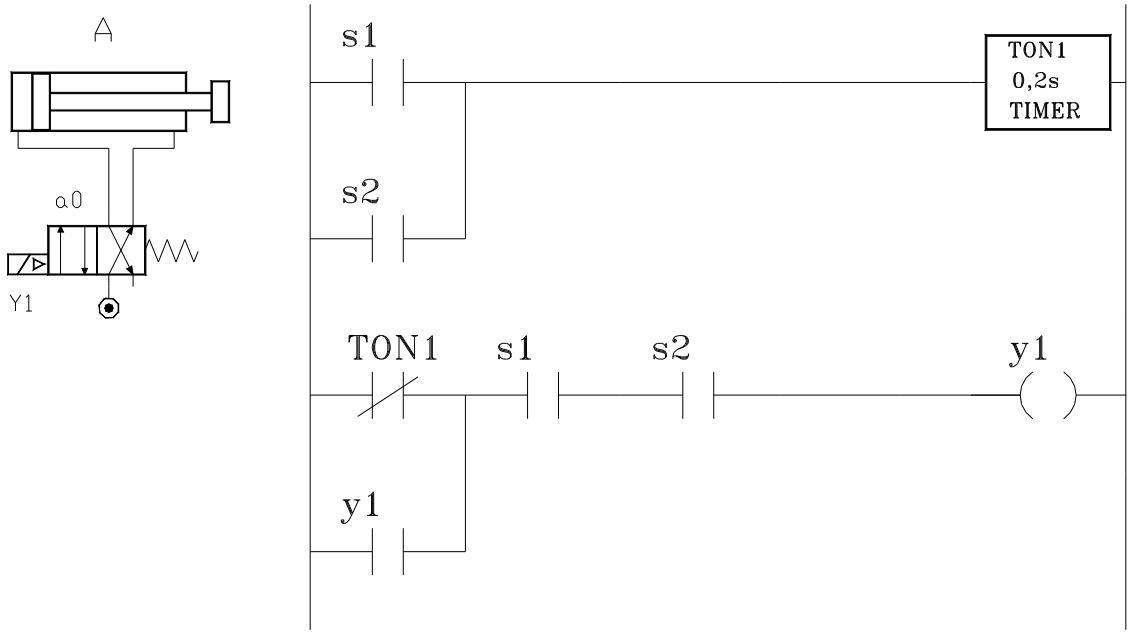
5.1 Exemplo de uso do temporizador

A+ B+T1 A - T2 B- ...



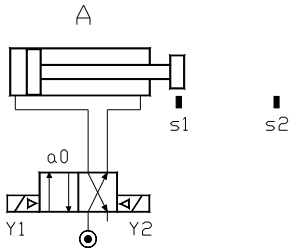


5.2 Comando bimanual de segurança

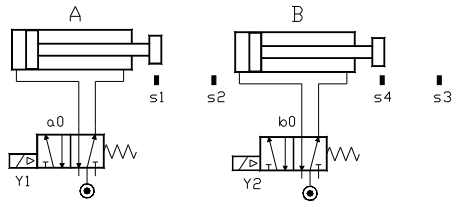


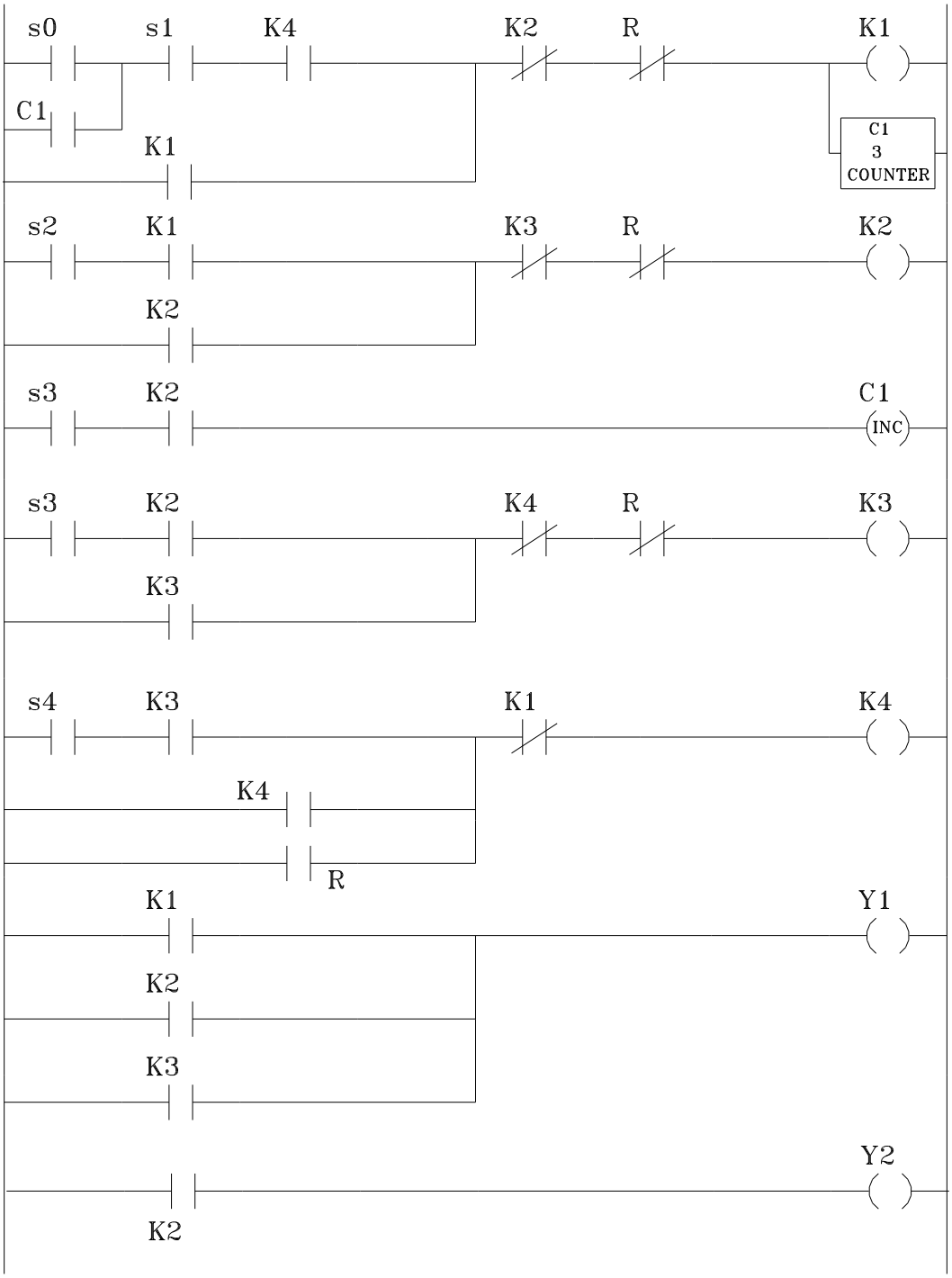
5.3 Exemplo de uso do contador incremental

A+ A - (5x)



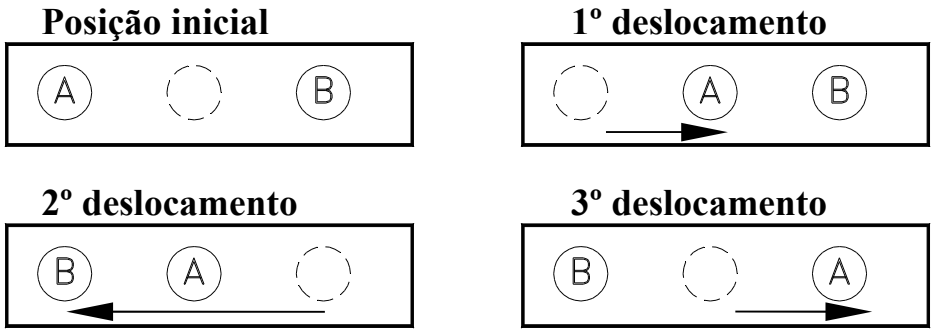
A+ B+ B- A - (3x)


A
B
s1
s2
s4
s3
a0
b0
Y1
Y2


s0
s1
K4
K2
R
K1
C1
K1
C1
3
COUNTER
s2
K1
K3
R
K2
K2
s3
K2
C1
INC
s3
K2
K4
R
K3
K3
s4
K3
K1
K4
K4
R
K1
Y1
K2
K3
Y2
K2

5.4 Programa para comando de um manipulador pneumático

Através de um manipulador pneumático as peças A e B devem trocar de posição, conforme o diagrama abaixo:



Para tanto se faz necessário o uso de um gerador de vácuo e de um cilindro com haste dupla e vazada, afim de que nesta seja instalada uma ventosa capaz de levantar as peças (Fig.1). Todo o conjunto é montado sobre a mesa de um cilindro sem haste, que fará o deslocamento das peças. (Fig.2). Esse cilindro é comandado por uma válvula 5/3 CF acionada pelos solenóides y1 e y2.

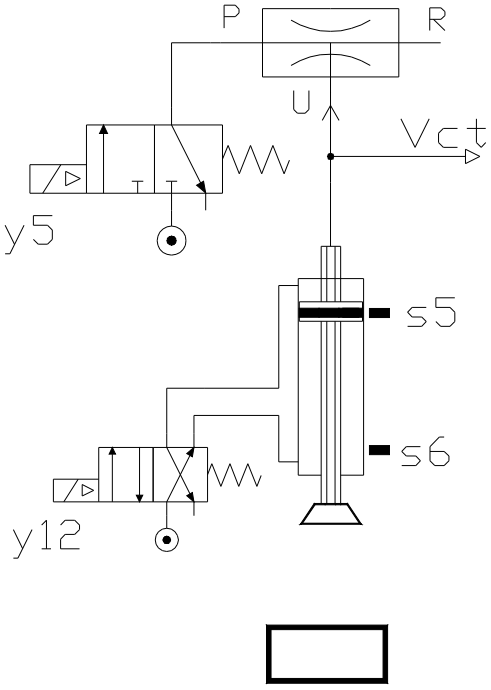


Fig. 1

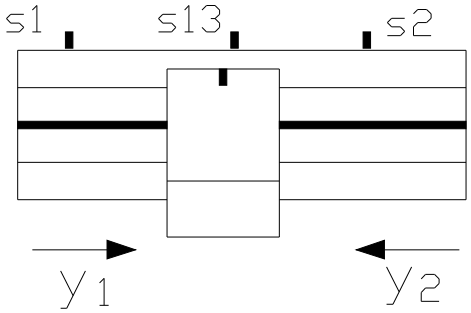
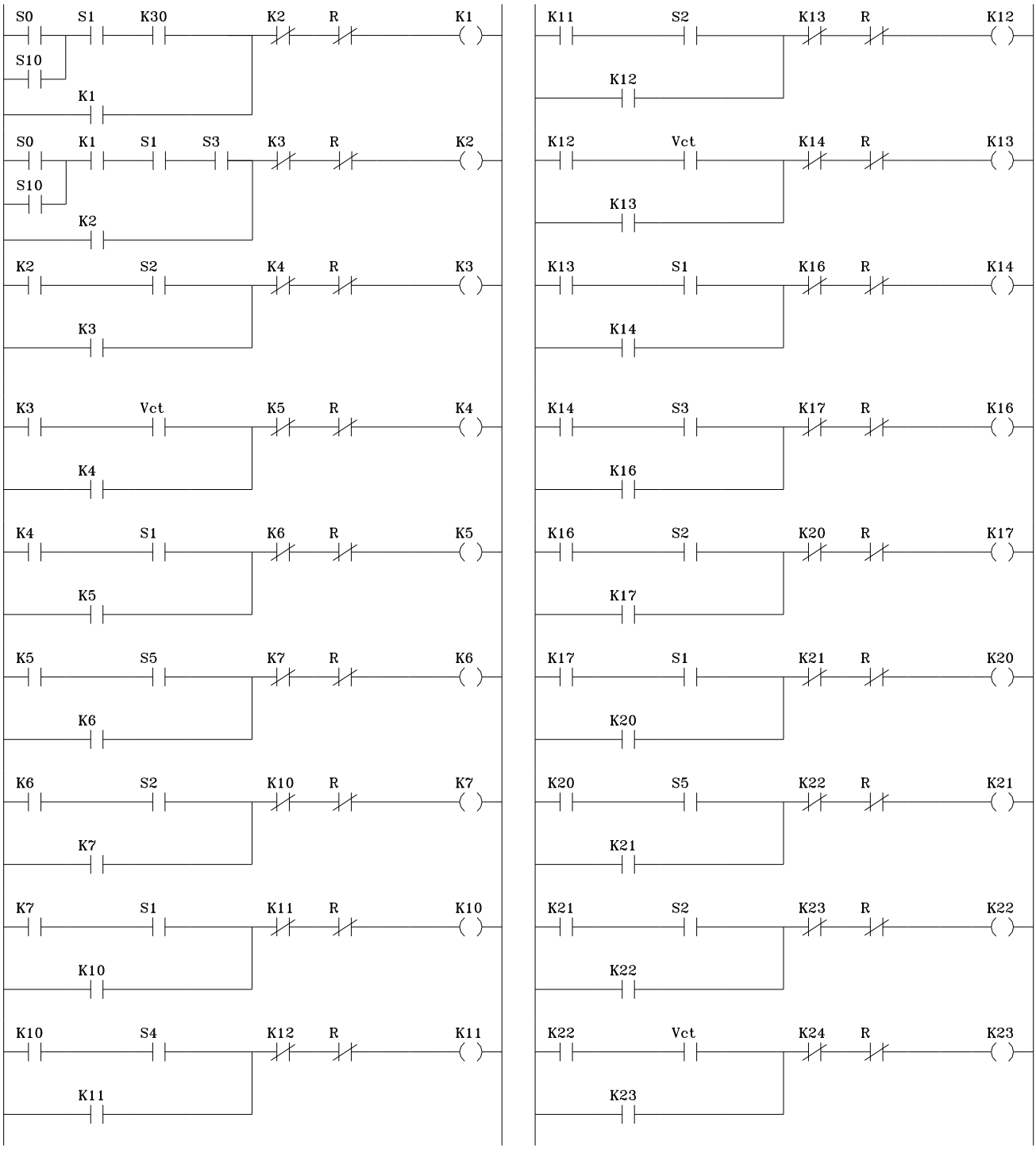


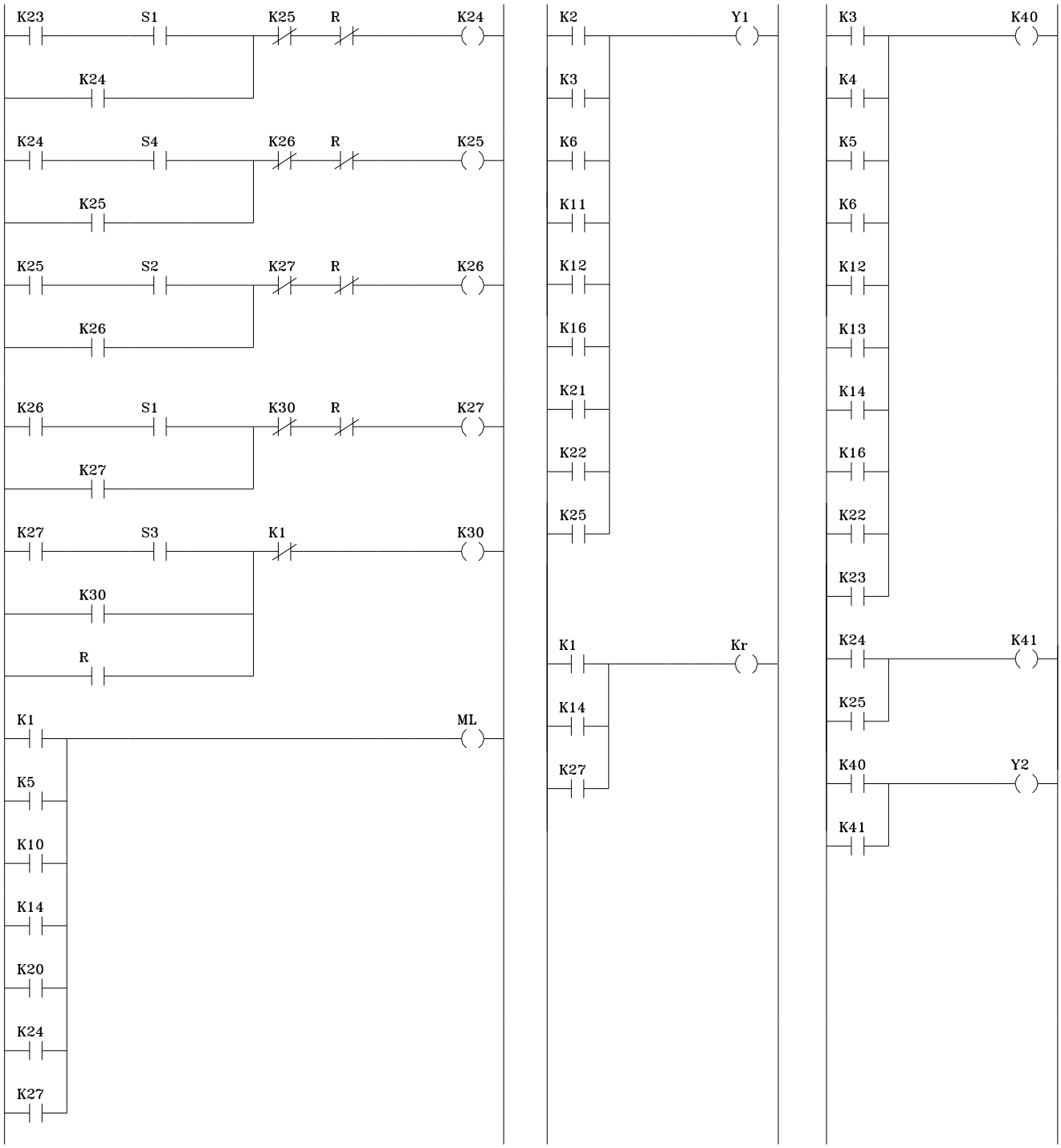
Fig. 2

Programa para CLP Festo, utilizando o método passo a passo.

S0 - chave de partida tipo impulso - ciclo único.
S10 - chave de partida com retenção - ciclo contínuo.
R - chave reset.
K - auxiliares.
Y1 - solenóide de avanço do cilindro - desce a peça.
Y2 - solenóide de acionamento do gerador de vácuo.
Vct - sensor de vácuo por pressão diferencial.



Continuação



BIBLIOGRAFIA

Apostila idealizada e autorizada sua utilização pelo Prof. Doroteu Afonso Coelho Pequeno do Ifce

1. **ABHP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA**. Hidráulica e pneumática. Coletânea de artigos técnicos, V.1 e 2, São Paulo, 1995.
2. **BOLLMANN, ARNO**, FUNDAMENTOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PNEUTRÔNICA, São Paulo: ABHP, 1996.
3. **BONACORSO, NELSON GAUZE**; **NOLL, VALDIR**, AUTOMAÇÃO ELETROPNEUMÁTICA, São Paulo: Érica, 1997.
4. CILINDROS PNEUMÁTICOS E COMPONENTES PARA MÁQUINAS DE PRODUÇÃO, São Paulo: Schrader Bellows, 1978
5. **COSTA, ENIO CRUZ DA**, COMPRESSORES, São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1978
6. **FIALHO**, **ARIVELTO BUSTAMANTE**, AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA, SÃO PAULO: Érica, 2003.
7. **FIALHO**, **ARIVELTO BUSTAMANTE**, AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA, SÃO PAULO: Érica, 2003.
8. **GANGE, ROLF.** Introdução a Hidráulica, São Paulo: Festo Didatic, 1987.
9. **GANGE, ROLF.** Introdução a Sistemas Eletro-Hidráulicos, São Paulo: Festo Didatic, 1987.
10. **GANGE, ROLF.** Técnicas, Aplicações e Montagem de Comandos Hidráulicos, São Paulo: Festo Didatic, 1987.
11. **H. MEIXNER**, INTRODUÇÃO À PNEUMÁTICA, São Paulo: Festo Didatic, 1978
12. **H.MEIXNER**, ANALISE E MONTAGEM DE SISTEMAS PNEUMATICOS, São Paulo: Festo Didatic, 1978
13. **H.MEIXNER**, INTRODUÇÃO A ELETROPNEUMATICA, São Paulo: Festo Didatic, 1978
14. **H.MEIXNER**, PROJETOS DE SISTEMAS PNEUMATICOS, São Paulo: Festo Didatic, 1978
15. INTRODUÇÃO A HIDRÁULICA PROPORCIONAL, São Paulo: Festo Didatic, 1991.
16. MANUAL DE HIDRÁULICA BÁSICA, Porto Alegre: Racine Hidráulica, 1991.
17. **MEIXNER, H.** Técnicas, Aplicações e Montagem de Comandos Eletro-Hidráulicos, São Paulo: Festo Didatic, 1989.
18. **PIPPENGER, John J.; Hicks, Tyler G.** Industrial Hidraulics, New York: McGraw-Hill, 1980

19. PRINCIPIOS BÁSICOS: PRODUÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E CONDICIONAMENTO DO AR COMPRIMIDO, São Paulo: Schrader Bellows, 1978

20. VÁLVULAS PNEUMÁTICAS E SIMBOLOGIA DOS COMPONENTES, São Paulo: Schrader Bellows, 1978

21. INDUSTRIAL HYDRAULICS MANUAL , Vickers, 2001

22. **ANDREW Parr**, HYDRAULICS AND PNEUMATICS: A TECHNICIANS AND ENGINEERS GUIDE - 2ª Ed, Oxford: Butterworth Heinemann, 2006

23. MOBILE HYDRAULICS MANUAL, Vickers, 1998

Hino Nacional

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas
De um povo heróico o brado retumbante,
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,
Brilhou no céu da pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade
Conseguimos conquistar com braço forte,
Em teu seio, ó liberdade,
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido
De amor e de esperança à terra desce,
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,
És belo, és forte, impávido colosso,
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada,Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,
Ao som do mar e à luz do céu profundo,
Fulguras, ó Brasil, florão da América,
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra, mais garrida,
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;
"Nossos bosques têm mais vida",
"Nossa vida" no teu seio "mais amores."

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo
O lábaro que ostentas estrelado,
E diga o verde-louro dessa flâmula
- "Paz no futuro e glória no passado."

Mas, se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta,
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Hino do Estado do Ceará

Poesia de Thomaz Lopes
Música de Alberto Nepomuceno
Terra do sol, do amor, terra da luz!
Soa o clarim que tua glória conta!
Terra, o teu nome a fama aos céus remonta
Em clarão que seduz!
Nome que brilha esplêndido luzeiro
Nos fulvos braços de ouro do cruzeiro!

Mudem-se em flor as pedras dos caminhos!
Chuvas de prata rolem das estrelas...
E despertando, deslumbrada, ao vê-las
Ressoa a voz dos ninhos...
Há de florar nas rosas e nos cravos
Rubros o sangue ardente dos escravos.
Seja teu verbo a voz do coração,
Verbo de paz e amor do Sul ao Norte!
Ruja teu peito em luta contra a morte,
Acordando a amplidão.
Peito que deu alívio a quem sofria
E foi o sol iluminando o dia!

Tua jangada afoita enfune o pano!
Vento feliz conduza a vela ousada!
Que importa que no seu barco seja um nada
Na vastidão do oceano,
Se à proa vão heróis e marinheiros
E vão no peito corações guerreiros?

Se, nós te amamos, em aventuras e mágoas!
Porque esse chão que embebe a água dos rios
Há de florar em meses, nos estios
E bosques, pelas águas!
Selvas e rios, serras e florestas
Brotem no solo em rumorosas festas!
Abra-se ao vento o teu pendão natal
Sobre as revoltas águas dos teus mares!
E desfraldado diga aos céus e aos mares
A vitória imortal!
Que foi de sangue, em guerras leais e francas,
E foi na paz da cor das hóstias brancas!

GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ

Secretaria da Educação