

# Atuadores

## Aula 09 - Pneumática

# Apresentação

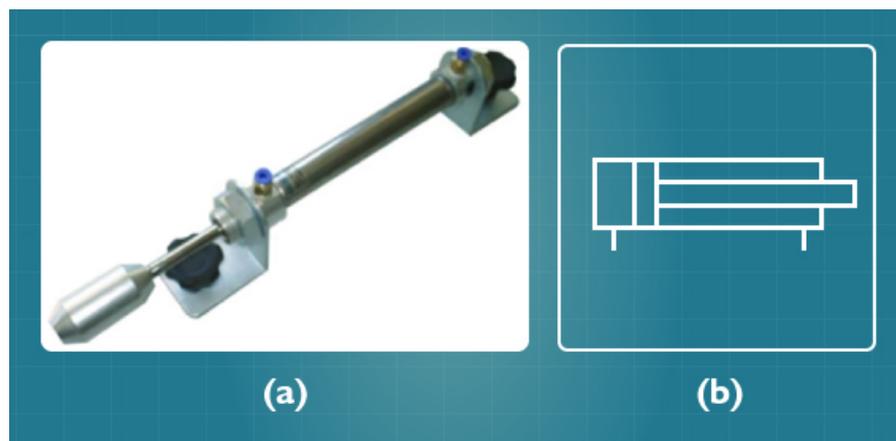
Ao longo dos últimos anos, diversos sistemas eletropneumáticos foram e ainda são utilizados na automação de processos industriais. O ser humano foi substituído por elementos eletropneumáticos, como cilindros e válvulas, que realizam o trabalho braçal de forma mais adequada e otimizada. Na aula de hoje, vamos estudar esses elementos e analisar alguns diagramas que nos auxiliam na tomada de decisões.

## Objetivos

- Compreender os elementos básicos de um sistema eletropneumático.
- Descrever alguns diagramas de funcionamento de um sistema eletropneumático: diagrama trajeto-passo, diagrama de acionamento de sensores e atuadores, e o método do GRAFCET (ou SFC).
- Conhecer alguns exemplos.

# O Cilindro Pneumático

Diversas aplicações na indústria utilizam o ar comprimido como ferramenta principal de trabalho. Caixas são movimentadas, peças são furadas e até garrafas são lacradas com uso de elementos pneumáticos. O principal responsável por essas atividades corresponde ao **cilindro pneumático**, presente na maioria das indústrias da atualidade (apesar de aplicações datarem de 2000 anos antes) e cujo princípio de funcionamento é bem simples. Formado por um êmbolo móvel acoplado a uma haste de metal, possui normalmente dois orifícios por onde o ar pode entrar ou sair (**Figura 1**). O ar comprimido entra por uma de suas extremidades fazendo com que o êmbolo (em conjunto com uma haste de metal) se desloque. Nesse deslocamento, a haste de metal pode empurrar peças, amassar chapas etc. Para retornar a sua posição inicial, podemos utilizar novamente o ar comprimido na outra extremidade. É interessante ressaltar que enquanto uma das extremidades é utilizada para a entrada de ar, a outra é utilizada para saída. Em virtude da movimentação através do ar comprimido nos dois sentidos (avanço e recuo), esse cilindro é conhecido como cilindro de dupla ação.



**Figura 1** - (a) Cilindro de dupla ação com êmbolo magnético; (b) Simbologia.

**Fonte:** (a) <http://www.festo-didactic.com/br-pt/sistemas-de-ensino/bancadas-de-treinamento/pneumatica/pneumatica/cilindro-de-dupla-acao.htm?fbid=YnlucHQunTM3LjzLjE4LjEwMTguNTI3Nw>. (b) PARKER TRAINING (2005, p. 42).

Acesso em: 07 ago. 2014

Ao invés de dois pontos de conexão, podemos também utilizar um cilindro com uma única entrada/saída de ar comprimido (**Figura 2**). Nesse caso, uma mola interna é utilizada para fazer o cilindro retornar a sua

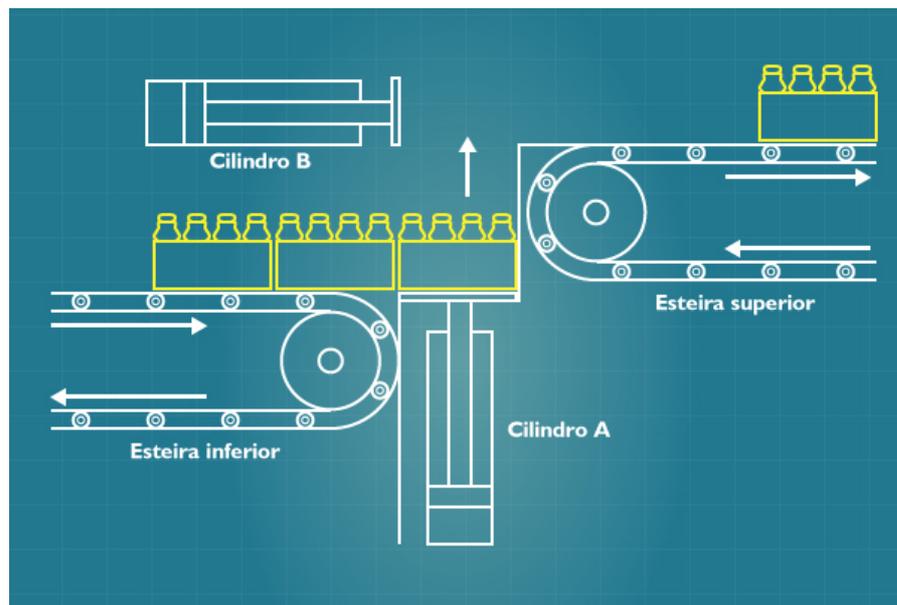
posição original, sendo conhecido assim como um cilindro de ação simples.



**Figura 2** - (a) Cilindro de ação simples com êmbolo magnético; (b) Simbologia.  
**Fonte:** (a) <http://www.festo-didactic.com/br-pt/sistemas-de-ensino/bancadas-de-treinamento/pneumatica/pneumatica/cilindro-de-simples-acao.htm?fbid=YnlucHQunTM3LjzLjE4LjEwMTguNTI2NA>. (b) PARKER TRAINING (2005, p. 42).  
Acesso em: 07 ago. 2014

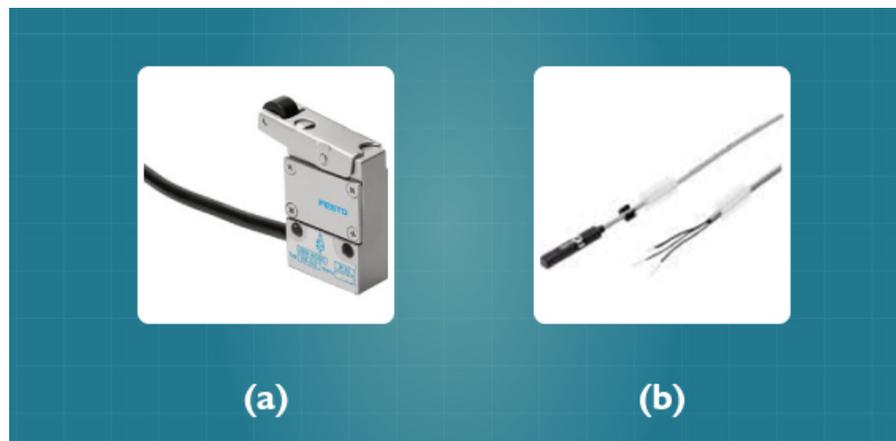
## Sensores de Fim de Curso

Considere a aplicação da **Figura 3**. Deseja-se movimentar uma caixa da esteira inferior para a esteira superior utilizando-se dois cilindros (A e B).



**Figura 3** - Aplicação do uso de cilindros na indústria.  
**Fonte:** Maitelli (2005).

O primeiro passo para a solução do problema é definir uma sequência de operações válidas (avanço e recuo dos cilindros). Nesse primeiro momento, não vamos nos preocupar em saber quem irá movimentar os cilindros, mas sim como eles serão movimentados. Ou melhor, qual é a sequência correta de acionamento desses cilindros. Uma possibilidade de comando corresponde a avançar o cilindro A (representado pelo símbolo A+), depois avançar B (símbolo B+), recuar A (símbolo A-) e, por fim, recuar B (símbolo B-). Note que, nesse processo, inevitavelmente, precisamos ter a certeza de que os cilindros estão totalmente avançados e/ou recuados, pois não vai adiantar de nada acionar o cilindro B, por exemplo, sem antes acionar o A (mantendo-o acionado). Ou seja, a próxima ação só deve ser executada quando a anterior tiver sido realizada. O responsável por garantir essa informação corresponde aos **sensores de fim de curso**, como os apresentados na **Figura 4**.



**Figura 4** - Tipos de sensores de fim de curso: (a) mecânico; (b) magnético.

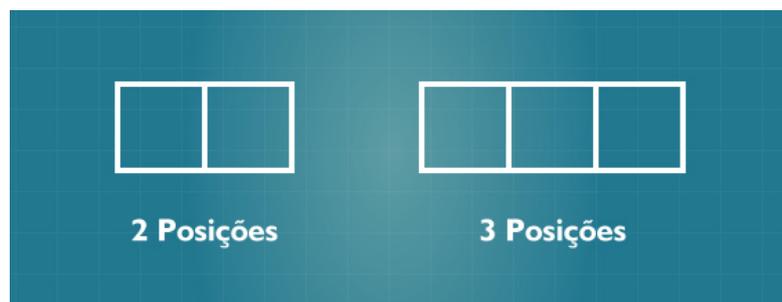
**Fonte:** [http://www.festo.com/cat/pt-br/br/products\\_050000](http://www.festo.com/cat/pt-br/br/products_050000). Acesso em: 7 ago. 2014

Há, basicamente, dois tipos de sensores de fim de curso: os mecânicos e os magnéticos. O primeiro corresponde a uma simples chave posicionada no fim de cada curso (avanço ou atraso) e que é acionada fisicamente através do contato entre o sensor e a cabeça do cilindro. Já o segundo, não necessita de contato físico. Tudo é realizado de forma magnética. Como? Através de indução. Alguns cilindros, como os apresentados nas **Figuras 1 e 2**, possuem um êmbolo magnético para a detecção através de sensores. Diferentemente dos mecânicos, os sensores magnéticos ficam posicionados no corpo do cilindro, e não no seu percurso. Obviamente são mais caros, porém mais confiáveis.

# Válvulas Direcionais

As **válvulas direcionais** são equipamentos que possuem várias entradas/saídas de ar (chamadas de vias) e que tem como objetivo orientar o fluxo que entra/sai dos cilindros. Na maioria das vezes, também realiza a conversão do sinal elétrico, oriundo de um CLP, por exemplo, em um sinal pneumático (ar comprimido). Elas funcionam como uma espécie de torneira: podemos liberar ou bloquear a passagem de ar, bem como controlar o seu sentido, a qualquer momento. Em outras palavras, podemos alterar o estado da válvula (também chamado de posição) de forma rápida, segura e fácil. Esse processo é fundamental, pois num cilindro de ação simples ou dupla, ora o ar entra por um dado orifício, ora ele sai. Quem é responsável por realizar essa tarefa é a válvula direcional. As características mais importantes desses dispositivos são:

- a. Quantidade de posições:** corresponde a quantidade de configurações internas possíveis que uma válvula direcional pode executar. As válvulas são representadas por retângulos divididos em quadrados. Cada quadrado corresponde a uma posição (configuração) distinta. A Figura 5 apresenta a simbologia de duas válvulas diferentes: uma de duas posições e outra de três posições. Note que na representação a seguir ainda não existe a configuração interna de cada posição.

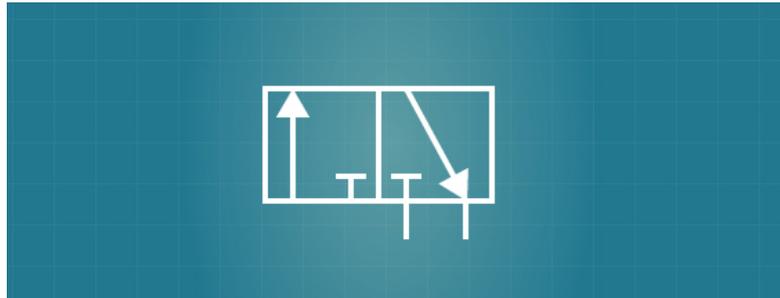


**Figura 5** - Simbologia de válvulas de duas e três posições.

**Fonte:** PARKER TRAINING (2005, p. 23).

- b. Quantidade de vias:** corresponde ao número de conexões que a válvula possui. Cada conexão (ou via) pode ser interligada com linhas de alimentação (entrada de ar), escapes (exaustão) ou vias de utilização (interligação com os cilindros ou demais dispositivos). A ligação interna de cada configuração (posição) é descrita no interior dos quadrados através de setas, linhas e

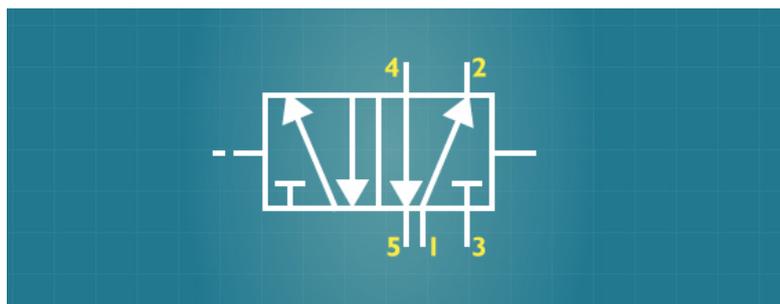
pontos. A presença de um "T" numa dada conexão representa um bloqueio da via. Já presença de uma seta informa a passagem de ar comprimido entre duas vias (normalmente no sentido da seta). A Figura 6 apresenta uma válvula de três vias e duas posições, também conhecida como válvula 3/2. Note que o primeiro número indica a quantidade de vias, e o segundo, a quantidade de posições.



**Figura 6** - Válvula de três vias e duas posições (3/2).

Fonte: PARKER TRAINING (2005, p. 24).

**c. Identificação das vias:** cada via é identificada por um número (norma DIN 24300) ou letra (norma ISO 1219) de acordo com o seu tipo: linhas de alimentação (P ou 1), escapes (R,S,T ou 3 e 5) ou vias de utilização (A,B,C,D ou 2 e 4). Essa especificação é necessária para a correta identificação e ligação das válvulas. A Figura 7 apresenta a simbologia para uma válvula 5/2.

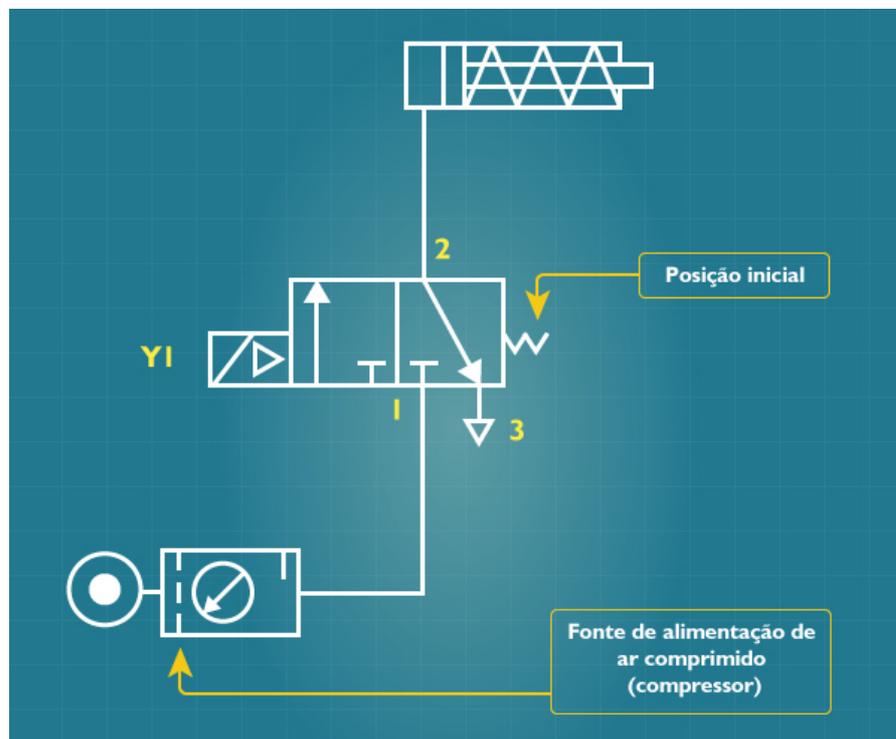


**Figura 7** - Válvula de cinco vias e duas posições (5/2).

Fonte: PARKER TRAINING (2005, p. 24).

Para exemplificar, considere o sistema pneumático da Figura 8. É um sistema bem simples, em que se deseja acionar um dado cilindro através de um sinal elétrico, mantendo-o avançado até que o sinal cesse. O cilindro em questão é de ação simples, e a válvula é do tipo 3/2 (três vias e duas posições). O processo de conversão eletropneumático está integrado à válvula e funciona por meio da alimentação de um solenoide, identificado por "Y1". Ao ser alimentado (e permanecendo assim), a válvula muda de posição (configuração), e ao invés das conexões iniciais (quadrado da direita), uma nova configuração (quadrado da esquerda) é

utilizada. Caso "Y1" seja desenergizado, a válvula volta a sua posição inicial por meio da ação de uma mola. A configuração da esquerda, por sua vez, realiza a interligação da entrada de ar comprimido (observe a identificação "1") com a via de utilização (conexão com o cilindro, identificação "2"). Dessa forma, o êmbolo do cilindro é empurrado pelo ar comprimido que entra na parte de trás, mantendo-se nessa posição até que "Y1" seja desenergizado. Nessa situação, a válvula retorna a sua posição inicial, interligando o cilindro com a conexão de exaustão (identificação "3") e bloqueando a via de alimentação (identificação "1"). Note que nenhum sensor de fim de curso (mecânico ou magnético) foi utilizado, pois nessa aplicação este elemento não é necessário. Por fim, perceba que logo abaixo da via "3" (quadrado da direita) existe um triângulo invertido afastado do símbolo. Ele indica uma via de exaustão com conexão (escape dirigido). Caso o triângulo estivesse junto ao quadrado, seria uma via de exaustão sem conexão (escape livre)



**Figura 8** - Exemplo de um sistema pneumático com um cilindro de ação simples e uma válvula 3/2.

Fonte: PARKER TRAINING (2005, p. 64).

## Atividade 01

1. Pesquise sobre os diversos modelos de cilindros, válvulas e sensores de fim de curso. Para dois modelos de cada elemento,

apresente as suas características básicas e realize comparações. Liste alguns fabricantes.

2. Pesquise sobre uma válvula direcional do tipo 2/2. Esboce a sua simbologia.

## Diagramas de Análise

Após a apresentação dos elementos básicos, já podemos pensar em um sistema de comando para os nossos exemplos. Mas como podemos implementar fisicamente uma certa lógica de comando? Como podemos interagir com as válvulas direcionais? Bem, há basicamente duas formas: podemos utilizar um circuito elétrico à relé, ou podemos utilizar um sistema a base de um CLP (Controlador Lógico Programável). A primeira alternativa é mais simples e de baixo custo, enquanto que a segunda, além de mais cara, requer uma mão de obra mais qualificada (indicada normalmente para aplicações mais complexas). No nosso curso, vamos trabalhar com as duas alternativas. Inicialmente com um circuito à relé, e depois com a programação do CLP. Vale lembrar que as duas possibilidades possuem uma ligação bem próxima, pois vamos trabalhar com a linguagem de programação Ladder.

Porém, antes de construir o circuito elétrico ou o de programar o CLP, precisamos de ferramentas para nos auxiliar nessa tarefa. Tais ferramentas na verdade são diagramas. Vamos lidar com dois grupos de diagramas, também conhecidos como métodos de solução. Um deles, o método sequencial, utiliza três gráficos, enquanto que o outro, o método do GRAFCET (ou SFC), utiliza apenas um. Vamos analisá-los cuidadosamente nas próximas seções.

## Método Sequencial

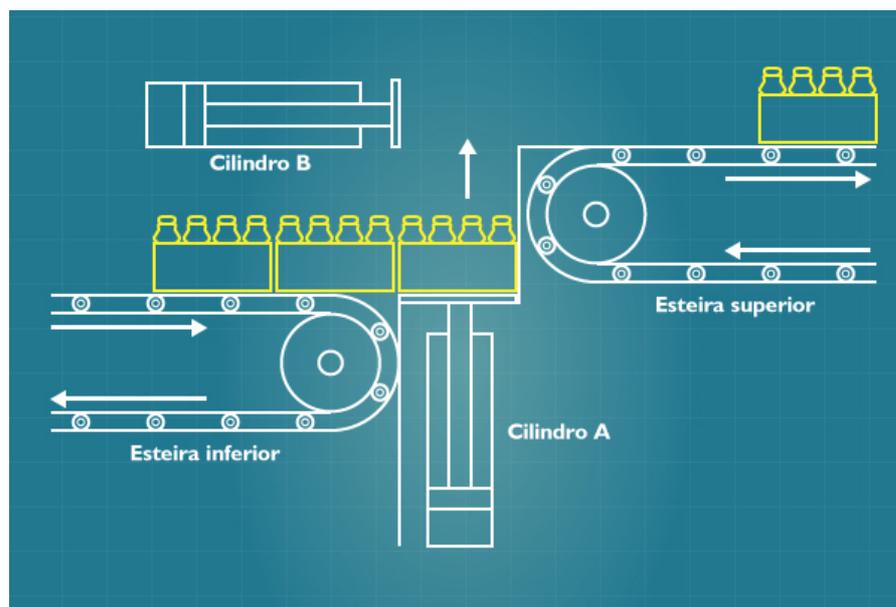
Os diagramas desse método especificam separadamente o estado dos cilindros (diagrama trajeto-passo), o estado dos sensores de fim de curso (diagrama de acionamento de sensores) e os comandos dos cilindros (diagrama de acionamento dos atuadores). Com estas informações, podemos decidir quais sensores serão utilizados para acionar quais cilindros. Além disso, podemos decidir qual é a melhor opção para o

acionamento dos elementos: válvulas com um único solenoide ou com dois (um para o avanço do cilindro e outra para o recuo). Nesse último caso, apenas um pulso é necessário para cada solenoide, enquanto que no primeiro caso, precisamos manter o solenoide energizado para garantir o avanço do cilindro (ou recuo). Sempre podemos utilizar somente válvulas com um solenoide, porém vamos precisar de relés auxiliares, o que pode complicar o nosso projeto, dependendo do tamanho da aplicação.

Considere novamente a aplicação da **Figura 3**, reapresentada na **Figura 9**. Já sabemos que a sequência:

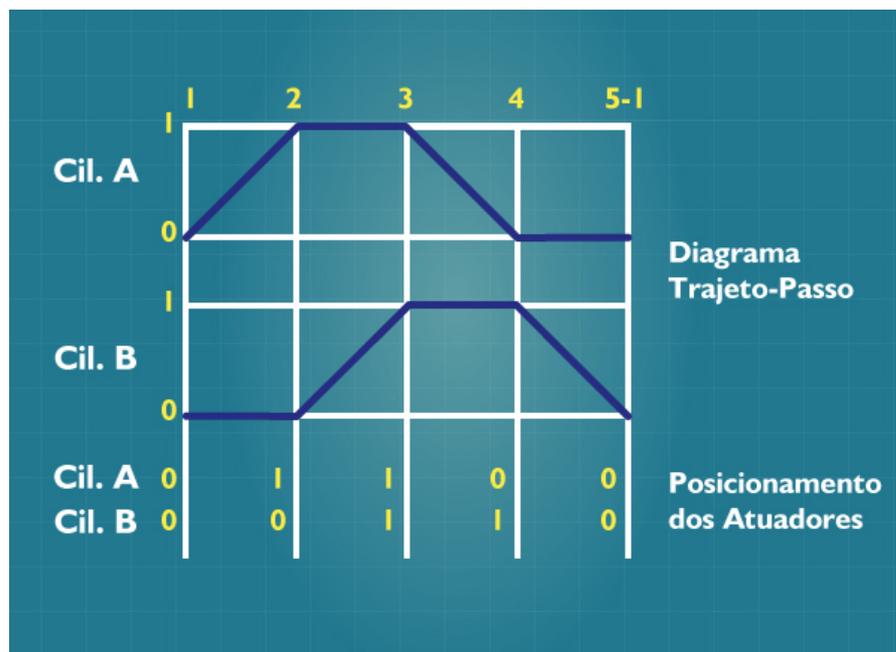
$$A^+ \rightarrow B^+ \rightarrow A^- \rightarrow B^-$$

Corresponde a sequência que deve ser utilizada para mover uma caixa da esteira inferior para a superior. Então, vamos analisar os diagramas sequenciais, começando pelo **diagrama trajeto-passo**. A ideia é dividir a nossa aplicação em passos/estados diferentes, numa quantidade que represente adequadamente a operação do sistema. Note que após a última sequência ( $B^-$ ), a primeira ação ( $A^+$ ) deve ser novamente executada. Dessa forma, vamos nos concentrar em um único ciclo. Para cada cilindro, suponha que existem dois sensores de fim de curso, sendo um para cada movimento (avanço e recuo), e que os cilindros são de dupla ação.



**Figura 9** - Aplicação do uso de cilindros na indústria.  
**Fonte:** Maitelli (2005).

O diagrama trajeto-passo do sistema é apresentado na **Figura 10**. Observe que existem dois gráficos, um para cada cilindro, com uma identificação binária em cada passo/estado (00, 01, 10,11). Um "0" representa o recuo do respectivo cilindro e um "1" representa o seu avanço. Após o início do processo (realizado por uma chave externa S, por exemplo), o cilindro A deve avançar (A<sup>+</sup>), enquanto B se mantém recuado. Essa situação transitória, em que A está avançando, é representada no diagrama por uma reta diagonal ascendente entre os passos 1 e 2, e a situação em que B está recuado é representada pela reta horizontal inferior. Em seguida, B deve avançar, enquanto A se mantém avançado. Nesse caso, entre os passos 2 e 3, o cilindro A permanece em "1" (reta horizontal superior) e o cilindro B na condição transitória (reta diagonal ascendente). Depois, A deve recuar enquanto B se mantém avançado. Dessa forma, entre os passos 3 e 4, o cilindro A está na condição transitória (reta diagonal descendente) e B está em "1" (reta horizontal superior). Por fim, entre 4 e 5, o cilindro A permanece recuado (reta horizontal inferior), enquanto B deve recuar (reta diagonal descendente).

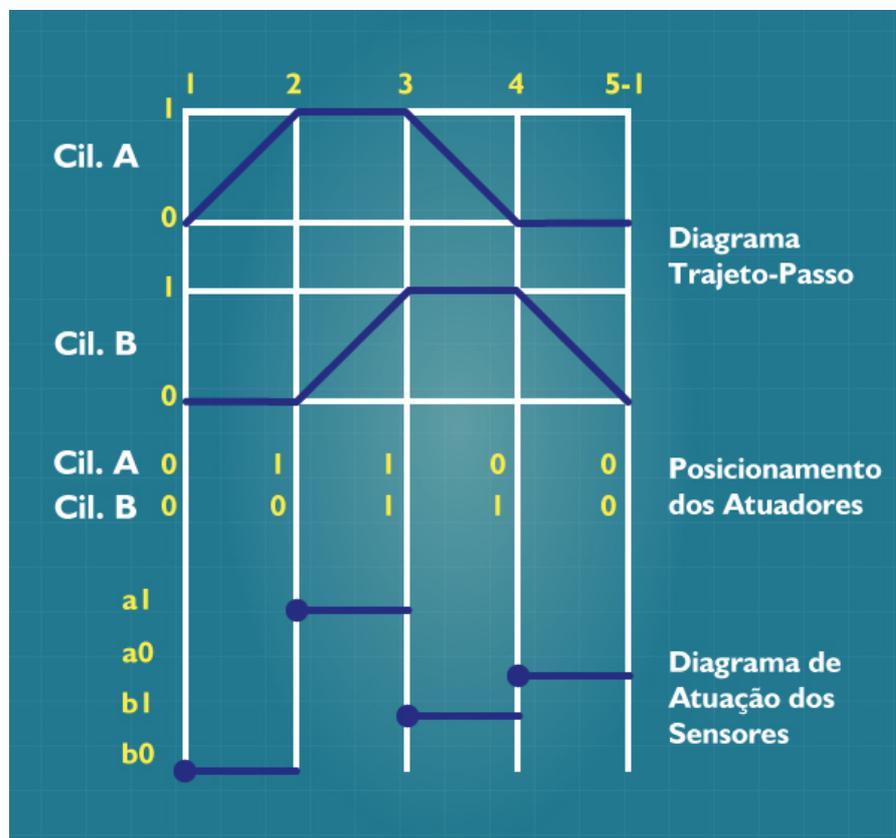


**Figura 10** - Diagrama trajeto-passo do sistema.

**Fonte:** Maitelli (2005).

Após a análise do diagrama trajeto-passo, podemos agora analisar o **diagrama de acionamento dos sensores**. A **Figura 11** apresenta o diagrama para o nosso exemplo. Note que, novamente, há cinco passos, e em cada passo, a sua identificação binária. O objetivo principal desse gráfico é informar o início e o fim do acionamento de cada sensor e, para

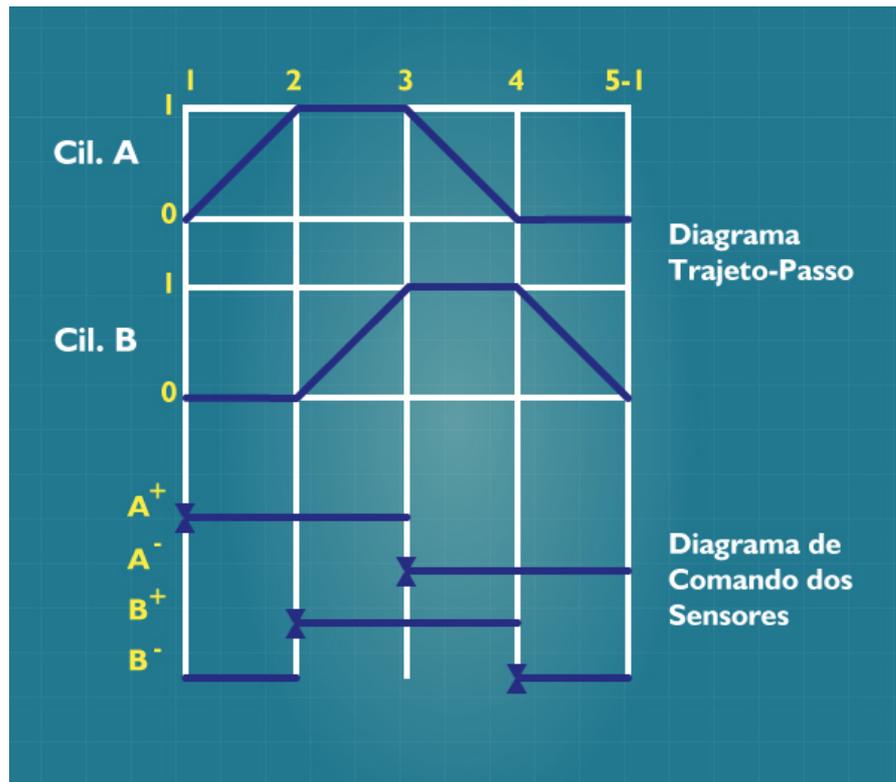
isso, vamos utilizar retas horizontais entre os passos. Por exemplo, entre os passos 1 e 2, já sabemos que o cilindro A está no processo de avanço (observe no diagrama trajeto-passo). Nesse caso, nenhum sensor de A, seja de avanço ( $a_1$ ) ou de recuo ( $a_0$ ), está acionado, uma vez que o cilindro encontra-se em movimento. Assim, vamos deixar um espaço vazio entre os passos 1 e 2 para os dois sensores de A. Em contrapartida, o cilindro B está recuado e, assim, o seu sensor  $b_0$  está acionado (note a reta horizontal entre 1 e 2 para esse sensor). Também não vamos inserir nada para  $b_1$ , pois já sabemos que B está recuado. Na sequência, entre os passos 2 e 3, os papéis se invertem: A está parado (totalmente avançado) e B está se movimentando. Nesse caso, devemos colocar uma linha horizontal somente em  $a_1$ , e espaços em branco para os demais sensores. De forma similar, podemos analisar o intervalo entre os demais passos.



**Figura 11** - Diagrama de acionamento dos sensores do sistema.  
 Fonte: Maitelli (2005).

Por fim, vamos analisar o **diagrama de acionamento dos atuadores**. A **Figura 12** apresenta o diagrama para o nosso exemplo. A ideia é informar onde começa e termina o processo de avanço e recuo de cada cilindro. Novamente, vamos começar pelos passos 1 e 2. De acordo com o diagrama trajeto-passo, sabemos que entre 1 e 2, o cilindro A está

avançando, permanecendo avançado entre 2 e 3. Dessa forma, para a linha  $A^+$ , devemos inserir uma reta horizontal entre 1 e 3. Já para o cilindro B, a reta deve ser inserida entre os passos 2 e 4, pois o seu avanço começa em 2, permanecendo avançado até 4. O mesmo procedimento pode ser adotado para  $A^-$  e  $B^-$ .



**Figura 12** - Diagrama de acionamento dos atuadores do sistema.  
**Fonte:** Maitelli (2005).

Agora já podemos analisar os três diagramas simultaneamente. Para tal, vamos utilizar a Figura 13. O primeiro ponto de análise está relacionado aos sensores de fim de curso. O objetivo é identificar quais sensores podem ser utilizados para acionar cada um dos cilindros. Vamos começar pelo cilindro A. Suponha que o sistema está em repouso (A e B recuados) e que existe uma chave S para iniciar o processo. Analisando as linhas  $A^+$  e  $b_0$  (Figura 13), observamos que os dois sinais (retas horizontais) começam ao mesmo tempo, o que nos é um indicativo de que  $b_0$  pode ser utilizado para avançar o cilindro A. Note que nenhum outro sensor pode ser utilizado, pois somente  $b_0$  está ativado no passo 1 (início de  $A^+$ ). Veja também que o tempo de duração (tamanho das linhas horizontais) de  $b_0$  e  $A^+$  são diferentes, o que indica a necessidade de uma válvula com dois

solenoides, um para o avanço de A e outro para o recuo. Caso as durações fossem iguais, poderíamos utilizar uma válvula com um único solenoide. Para o recuo de A, o único sensor que coincide com  $A^-$  corresponde a  $b_1$ .

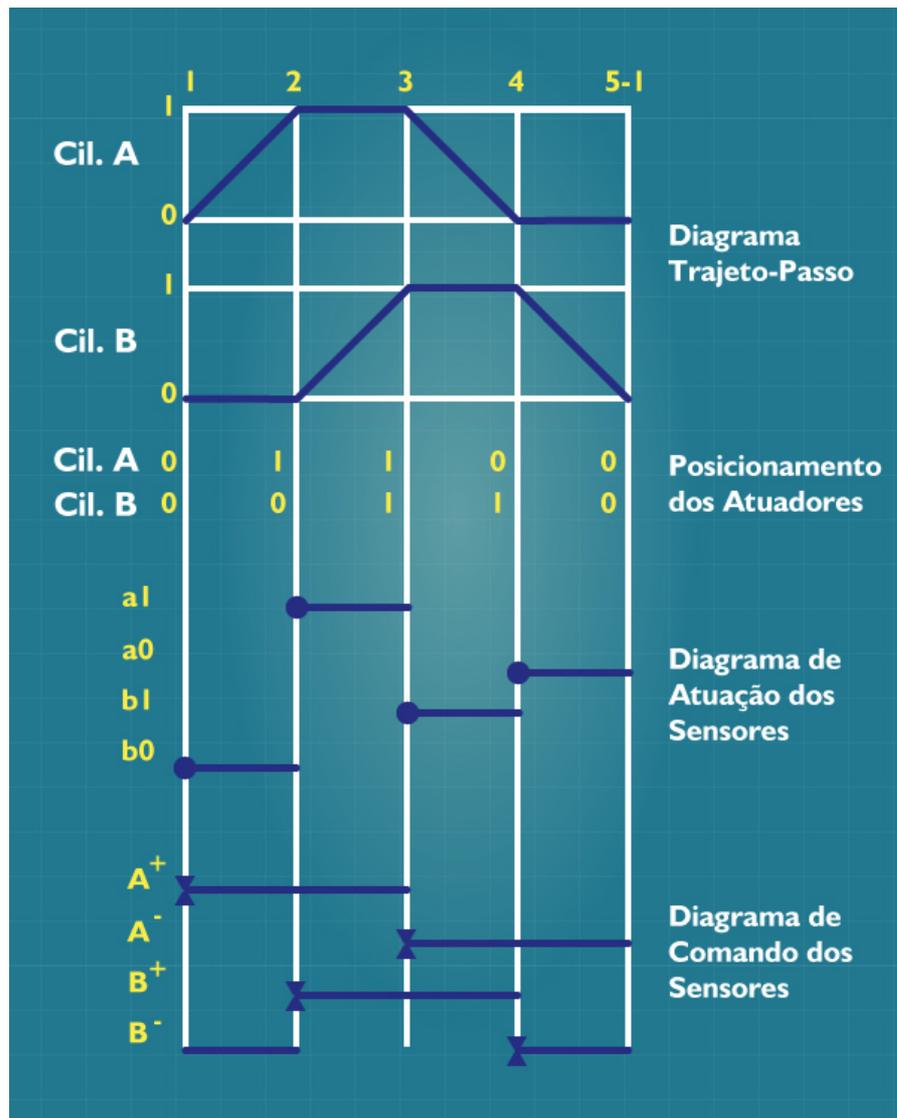


Figura 13 - Diagramas sequenciais do sistema.

Fonte: Maitelli (2005).

## Atividade 02

1. Considere novamente os diagramas da **Figura 13**. Quais sensores devemos utilizar para avançar e recuar o cilindro B? Informe a quantidade de solenoides que a válvula deve possuir.

## Método do GRAFCET

O método do GRAFCET (ou SFC) trabalha com um único gráfico ou diagrama para lidar com a solução do problema. Basicamente, existem três elementos que fazem parte desse diagrama: etapas, ações associadas e transições. Para cada etapa, existe um conjunto de ações que devem ser executadas. São as chamadas ações associadas. Além disso, existem condições (chamadas de transições) que, ao serem satisfeitas, fazem com que o sistema saia de uma determinada etapa para outra. Para exemplificar, considere o seguinte problema. Deseja-se ligar um motor elétrico somente quando uma botoeira for acionada e assim permanecer. Caso contrário, o motor deve ser desligado. Vamos analisar esse problema utilizando o método do GRAFCET. A **Figura 14** apresenta o nosso diagrama. Cada quadrado numerado de 1 a 3 corresponde a uma determinada etapa. Observe que cada etapa possui ainda uma ação associada, representada pelo retângulo ligado à respectiva etapa. Existe também a presença das transições, que são os traços na horizontal entre duas etapas seguidas. Note a presença de uma condição ao lado de cada transição (botoeira="ON" ou botoeira="OFF"). A etapa 1, conhecida como etapa inicial, é especial para o nosso diagrama. É a partir dela que tudo começa e, por isso, possui uma representação diferenciada em relação às demais (quadrado com bordas). Supondo que estamos em 1, o motor está desligado (ação associada), permanecendo assim até que a sua respectiva transição seja ativada. Neste caso, a transição depende do estado da botoeira. Caso a botoeira seja acionada (botoeira="ON"), o sistema sai da etapa 1 e passa para a etapa 2, em que o motor é ligado. Nesta situação, se a botoeira for liberada (botoeira="OFF"), o sistema sai da etapa 2 para a etapa 3, na qual o motor é desligado. Caso contrário, o sistema permanece em 2 com o motor ligado. Supondo que estamos agora em 3, o sistema somente deixará esta etapa se a botoeira for pressionada (botoeira="ON"), retornando para a etapa 2, e iniciando novamente o ciclo.

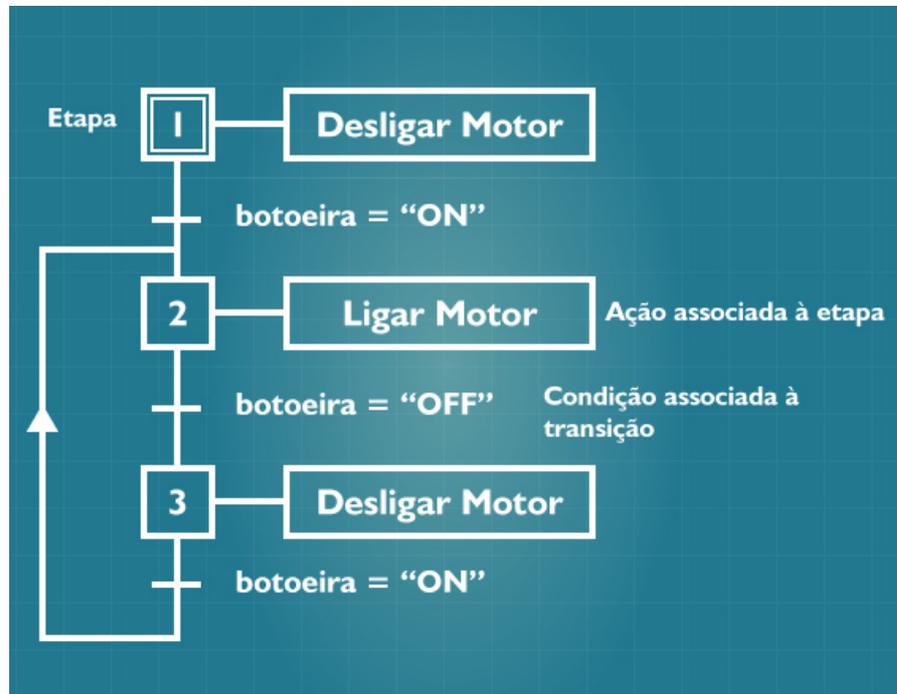


Figura 14 - Exemplo de um diagrama GRAFCET.  
 Fonte: Maitelli (2005)

## Atividade 03

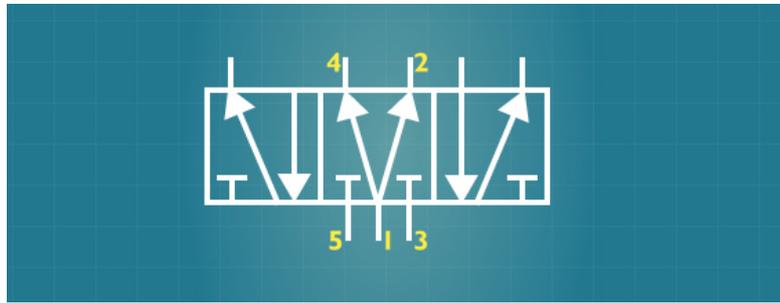
1. Obtenha o GRAFCET para o exemplo apresentado na **Figura 9**.

## Resumo

Nesta aula, falamos um pouco sobre os elementos básicos de um sistema eletropneumático: os cilindros, as válvulas e os sensores de fim de curso. Abordamos também dois métodos de solução de problemas, que serão utilizados posteriormente na construção de circuitos de comando e diagramas Ladder para os futuros exemplos.

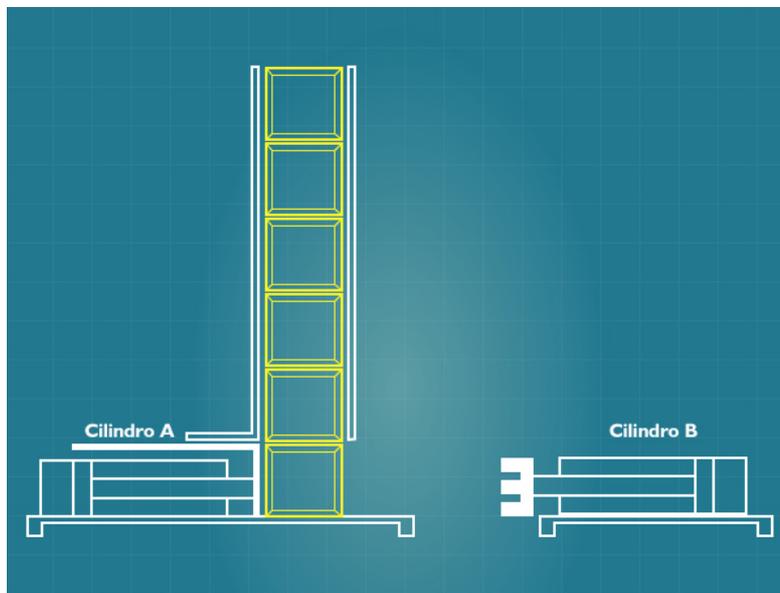
## Autoavaliação

1. Descreva os elementos básicos de um sistema eletropneumático. Apresente uma aplicação industrial com a presença desses elementos.
2. Para a válvula abaixo, informe a quantidade de posições, a quantidade de vias e o seu tipo (ex.: 3/2).



**Figura 15** - Exemplo de uma válvula.  
**Fonte:** PARKER TRAINING (2005, p. 34).

3. Encontre os diagramas sequenciais para o sistema abaixo (dispositivo de marcação de peças). Considere que o ciclo de trabalho é dado por:



**Figura 16** - Dispositivo de marcação de peças.  
**Fonte:** Maitelli (2005).

4. Para o sistema da **Figura 16** (dispositivo de marcação de peças), informe quais sensores devem ser utilizados para avançar e recuar cada cilindro (A e B). Existe algum problema? Em caso afirmativo, proponha uma solução.
5. Para o sistema da **Figura 16** (dispositivo de marcação de peças), encontre o diagrama GRAFCET.

# Referências

BOLTON, W. **Programmable logic controllers**. 5. ed. USA: Elsevier, 2009.

MAITELLI, A. L. **Notas de aula da disciplina controladores lógicos programáveis**. Natal: DCA/UFRN, 2005.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. São Paulo: LTC, 2007.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de mecatrônica**. 1. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.