

# Controlo de Sistemas Pneumáticos

O ar comprimido como fonte de energia é, provavelmente, a mais antiga forma de energia. Para seu controlo, o homem serviu-se do seu próprio corpo para, através dos seus pulmões, produzir ar sobre pressão. É com base neste desempenho humano que surge o termo *pneumática* que deriva do grego *pneuma* e que significa respiração ou sopro.

A primeira aplicação prática de sistemas de ar comprimido, documentada, foi desenvolvida por Ctesébios, fundador da Escola de Mecânicos em Alexandria, por volta do ano 280 AC. Muitas outras aplicações foram desenvolvidas ao longo da história humana, desde os simples tubos com dardos utilizados para caçar ou, de forma mais industrializada, pela utilização de conjuntos de foles nas forjas [1]. Esta mantém grande importância dado que ainda hoje podemos encontrar dentro de grandes edifícios de escritórios, hospitais, bancos e supermercados sistemas que, utilizando o ar comprimido ou o vácuo, transportam pequenos objetos, como medicamentos, notas, entre outros.

Ao longo dos tempos o ar comprimido tem sido aplicado em muitas outras áreas, nomeadamente como fonte de energia para o acionamento de ferramentas pneumáticas. Uma das primeiras aplicações em grande escala do ar em ferramentas pneumáticas (1861) passou pela aplicação do ar comprimido a martelos pneumáticos utilizados na perfuração de um túnel sob os Alpes Suíços [2]. Atualmente o ar comprimido tem um vasto campo de aplicações, quer isolado quer associado a outras fontes de energia, no entanto, foi só após a segunda Grande Guerra que o ar comprimido obteve o incremento e utilização que hoje lhe é atribuído.

## SISTEMAS DE CONTROLO INDUSTRIAL

Do ponto de vista dos Sistema de Controlo Industrial (SCI) a configuração básica de um qualquer sistema de controlo (pneumático, elétrico, e outros) resume-se ao esquema apresentado na Figura 1 [3]. No entanto, e por muito simples que este possa parecer, um SCI é composto por uma proliferação de malhas de controlo, *Interfaces Homem-Máquina* (HMI), diagnósticos remotos, ferramentas de manutenção suportados por redes industriais do tipo Profinet, Ethernet ou outras e de escritório do tipo TCP/IP que culminam na supervisão de todo o sistema.

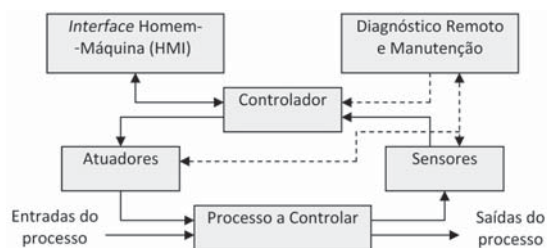


Figura 1. Operações de um SCI, adaptado de [3].

O SCI é constituído por uma ou varias malhas de controlo compostas por sensores, *hardware* de controlo, tal como Controlado-

res Lógicos Programáveis (PLCs), atuadores, válvulas de controlo, disjuntores, interruptores, motores e por uma rede de comunicação de comunicação de variáveis. As variáveis controladas são transmitidas ao controlador. O controlador interpreta os sinais gerando variáveis de manipulação que, com base nos parâmetros de referência, são transmitidas aos atuadores. Das alterações do processo resultam novos sinais, identificação do novo estado do processo, que são novamente transmitidas ao controlador. Os HMIs e a deteção remota ajudam a estabelecer os parâmetros de controlo e o diagnóstico de falhas do processo.

## CONTROLO DE SISTEMAS PNEUMÁTICOS

Os sistemas pneumáticos, enquanto sistemas de atuação, são considerados soluções económicas, robustas e compactas. É por estes motivos que a sua utilização se encontra amplamente disseminada na indústria, em tarefas de manipulação e de montagem. No entanto, a dificuldade inerente ao controlo dos movimentos e, nomeadamente, o posicionamento dos atuadores pneumáticos limita o campo de aplicação.

Convencionalmente, do ponto de vista do controlo de sistemas pneumáticos, a indicação da atuação dos cilindros pneumáticos é feita por letras maiúsculas, associadas a um sinal matemático, e o posicionamento dos atuadores, avançados ou recuados, por letras minúsculas associadas a um índice numérico 1 ou 0. Se designarmos por *A* um determinado atuador, representa-se por *A+* o seu *movimento de avanço* e por *A-* o seu *movimento de recuo*. Às ordens de comando da válvula distribuidora do ar associa-se *A<sub>1</sub>* à ordem de avanço e *A<sub>0</sub>* à de recuo. Designa-se *a<sub>1</sub>* o fim de curso de avanço e por *a<sub>0</sub>* o de recuo, Figura 2.

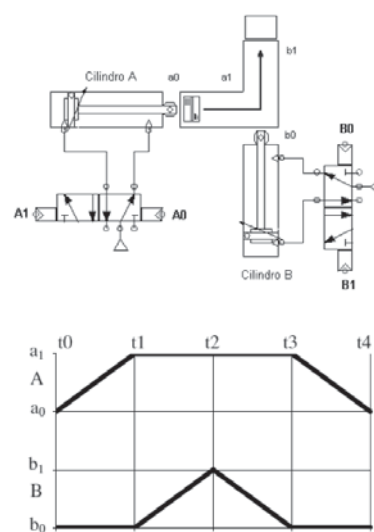


Figura 2. Representação de um circuito pneumático e respetivo diagrama de movimentos [1].

Do ponto de vista do funcionamento do sistema pneumático de mudança de direção, apresentado na figura anterior, o ci-

clo de trabalho poderá ser definido como combinatório (A+ B+ A- B-, ciclo quadrático controlado por quatro combinações distintas de válvulas de fim de curso em que, cada uma destas combinações, pode ser utilizada para comandar o movimento seguinte) ou ciclo sequencial (A+ B+ B- A-, ciclo em "L", com combinações idênticas associadas a movimentos distintos pelo que, a materialização deste ciclo torna-se impossível sem recurso a válvulas adicionais chamadas *memórias*). Se no ciclo *combinatório* o controlo do sistema depende, única e exclusivamente, da combinação de variáveis associadas aos fins de curso nos ciclos *sequenciais* é necessário utilizar um dos seguintes métodos: *memórias* [4], *Cascata* e *Mapas de Karnaugh* [1].

**MÉTODO DE CASCATA**

O método dito de cascata, embora seja quase exclusivamente utilizado no controlo de circuitos pneumáticos pode também, com algumas adaptações, ser usado na programação de PLCs. A metodologia, baseada no chamado seletor em cascata (Figura 3), permite realizar o controlo de sequências pneumáticas com elevado número de cilindros, movimentos e/ou memórias. O método, sendo de aplicação simples e de fácil compreensão, consiste na divisão da sequência de movimentos em vários grupos de modo a não repetirem letras. Naturalmente que não será só esta a regra imposta pela metodologia (ver [1]) é no entanto a principal, garantindo a não impossibilidade de movimentos. Assim, e no caso da sequência em "L", apresentada anteriormente, a aplicação do método traduzir-se-á na separação da sequência em dois grupos A+ B+|B- A- em que A+ e B+ pertencem ao primeiro grupo e B- e A- ao segundo. Em sequências mais complexas tornar-se-á mais evidente esta metodologia.

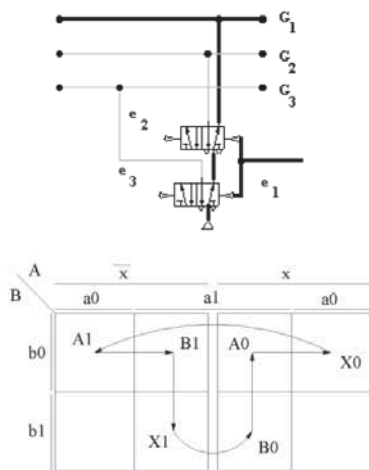


Figura 3. Implementação de memórias: duas memórias (cascata, à esquerda), uma memória (mapa de Karnaugh, em baixo).

**MÉTODO DOS MAPAS DE KARNAUGH**

O método dos Mapas de *Karnaugh*, ou da Matriz de *Karnaugh*, é uma técnica alternativa à representação de funções *booleanas*. É fundamentalmente utilizado na simplificação e minimização destas funções. Uma forma mais alargada desta metodologia permite resolver problemas de controlo industrial. Na realidade, este método poderá ser utilizado para construir e projetar

sistemas de controlo tendo como energias o ar comprimido e a eletricidade. A matriz é construída tendo em conta a correspondência entre os estados das variáveis primárias (fins de curso) e as ordens a executar (comando das válvulas distribuidoras) de modo que a situação inicial dos cilindros possa ser descrita no canto superior esquerdo da matriz ( $a_0$  e  $b_0$ , Figura 3). A matriz de base, considerando a sequência em "L" apresentada anteriormente, é construída com as variáveis incompatíveis do cilindro A ( $a_0$  e  $a_1$ , são variáveis incompatíveis, mecanicamente, pelo facto do cilindro não se encontrar simultaneamente em  $a_0$  e  $a_1$ ) colocadas na horizontal ao mesmo tempo que se colocam na vertical as variáveis incompatíveis do cilindro B. A ordem inicial do ciclo de trabalho corresponde ao movimento de avanço do cilindro A (A+) pelo que a realização deste movimento será feito após ser dada a ordem  $A_1$  (posição  $a_0 b_0 \bar{a}_1 \bar{b}_1$ ). Em consequência desta ordem o cilindro A avança colocando o fim de curso  $a_0$  na situação de não atuado terminando o seu movimento em  $a_1$  (posição  $\bar{a}_0 b_0 a_1 \bar{b}_1$ ). Uma seta unirá o ponto de partida ao ponto de chegada. As ordens seguintes serão executadas até à ordem de recuo de B (B-) que, pelo facto de não se poderem ocupar casa já ocupadas (ordem B+), se terá que fazer uma discriminação entre os estados presentes e passados. A intervenção de uma memória é então indispensável. Memória "X" com dois estados mutuamente exclusivos X e NX (não X). O mapa inicial deverá ser desdobrado de modo a fazer aparecer os dois estados da memória. A ordem  $X_1$  fará a alteração do estado da memória passando o movimento para uma casa simétrica em que a ordem  $B_0$  poderá agora ser realizada (ver Figura 3). O ciclo de movimentos deverá fechar na casa inicial.

**CONTROLO ELÉTRICO DE SISTEMAS PNEUMÁTICOS**

O controlo elétrico de sistemas pneumáticos pode ser realizado com base nos conceitos apresentados anteriormente. Isto é, recorrendo às equações obtidas quer pelo método dos mapas de *Karnaugh* quer em função das equações retidas do método de cascata (Figura 4). Deste ponto de vista a implementação traduzir-se-ia numa série de relés que seriam ativados e desativados, de acordo com a evolução da sequência (tecnologia de relés). Naturalmente que, sabendo-se o verdadeiro significado de cada uma das equações a implementação do controlo elétrico não seria de difícil execução a obtenção de um esquema elétrico simples, e que facilmente pode ser transformado numa linguagem de programação de PLCs. As ordens resultantes da aplicação dos métodos de cascata e de *Karnaugh*, de acordo com as regras associadas a cada uma das metodologias (ver [1]), são condicionadas pelo estado da ou das memórias utilizadas pelo que o controlo do circuito em "L", apresentado anteriormente, seria conseguido em função das seguintes equações:

$$\begin{matrix} A_0 = G2.b_0 \\ A_1 = G1.St \end{matrix} \quad \begin{matrix} B_0 = G2 \\ B_1 = G1.a_0 \end{matrix} \quad \begin{matrix} G1 = G2.a_0 \\ G2 = G1.b_1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} A_0 = b_0.x \\ A_1 = \bar{x}.St \end{matrix} \quad \begin{matrix} B_0 = x \\ B_1 = a_1.\bar{x} \end{matrix} \quad \begin{matrix} X_0 = a_0 \\ X_1 = b_1 \end{matrix}$$

Figura 4. Equações de controlo: a) Método de Cascata, b) Método de Karnaugh.

Naturalmente que, hoje em dia, o controlo de um qualquer sistema elétrico é realizado com recurso a PLCs ou sistemas computadorizados que monitorizam e controlam os estados do sistema. Ao nível da pneumática, e de processos mais comple-

xos, utilizam-se autómatos programáveis que, para além de interagirem facilmente com Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), integrados num sistema hierárquico para fornecerem uma gestão local dos processos através de controlo de gabarito, e com Sistemas de Controlo Distribuído (DCS), implementados como controladores locais dentro de uma hierarquia de controlo de supervisão, permitem interagir localmente com os operadores (HMI).

Os controladores lógicos programáveis são, na verdade, pequenos computadores industriais projetados para executar funções específicas tal como o controlo de I/O, funções lógicas, temporização, contagem, controlo PID (*Proporcional-Integral-Derivativo*), operações aritméticas, comunicações, entre outros, programado localmente através de uma interface de programação ou remotamente via LAN (Rede de Área Local). Utilizam vários tipos de linguagens de programação das quais se distinguem o *Ladder* (LD), representação gráfica dos diagramas elétricos, Diagrama de Blocos Funcionais (FBD), blocos funcionais capazes de efetuar funções lógicas elementares, e Lista de Declaração (STL), linguagem escrita na forma de editor de instruções do tipo "BASIC" ou "C", entre outras [5].

### MODELAÇÃO DE SISTEMAS DE CONTROLO

A modelação de um sistema de controlo pneumático é normalmente sequencial pelo que poderá ser realizada recorrendo a uma representação gráfica que permita traduzir, sem ambiguidades, a evolução do automatismo. Para isso poder-se-á usar a modelação gráfica denominada GRAFCET (Gráfico Funcional para Controlo Etapa-Transição), também designada de SFC (Gráfico Funcional Sequencial). Esta modelação é utilizada em qualquer sistema de controlo que evolua sequencialmente. Neste enquadramento, esta metodologia pode ser facilmente aplicada aos sistemas pneumáticos tanto quanto as metodologias descritas anteriormente.

O controlo da sequência em "L", já controlada com recurso aos métodos de casca-

ta e de *Karnaugh*, será agora controlada utilizando a modelação SFC. Será fácil perceber que a evolução do controlo da sequência não depende da existência de memórias mas sim dos estados em que a sequência se encontra a cada momento. Por outro lado está garantido que o movimento seguinte só se realiza após a validação, e retornando as metodologias anteriores, da variável ativa associada a cada movimento, avanço e recuo dos cilindros. As variáveis ativas encontram-se associadas às transições, traços horizontais a negrito, permitindo a transposição das mesmas quando estas forem verdadeiras, isto é, quando o fim de curso associado se encontrar atuado. As equações de controlo do sistema serão fáceis de obter e de implementar pela conversão do SFC em LD [5]. Na Figura 5 apresenta-se a modelação SFC da sequência em "L" e a implementação em LD das memórias usadas no Cascata e no *Karnaugh*. Note que na utilização do método de cascata é necessário utilizar o *bit* de inicialização (SM0.1) para ativar o estado inicial da memória (ativação do grupo 1, G1) enquanto no método de *Karnaugh* o estado de ativação das memórias (X, Y, entre outros) dependem unicamente da combinação das variáveis ativas ou em algumas situações do estado das próprias memórias.

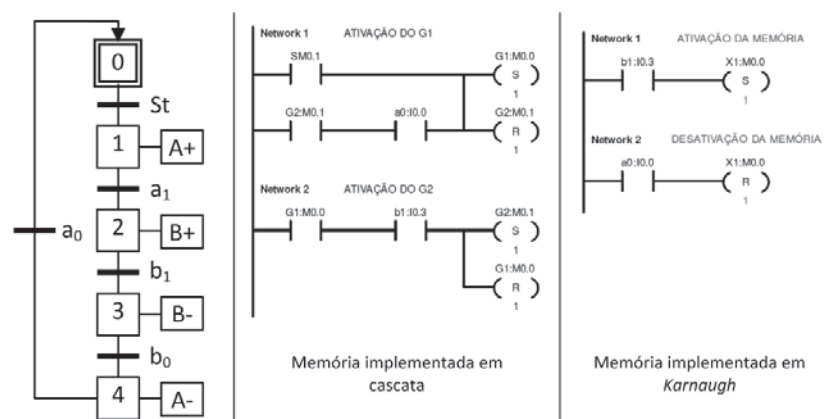


Figura 5. Modelação SFC à esquerda. Implementação à direita.

### CONCLUSÕES

O controlo de sistemas industrial é, sem dúvida, um processo árduo que exige do técnico ou engenheiro o domínio do processo ou a correta perceção do mesmo bem como o conhecimento das ferramentas usadas no controlo. Nos sistemas abordados neste artigo um sistema do tipo SCADA poderá ser usado na definição de parâmetro de *setup* ou no controlo do número de ciclos e atuações dos componentes com vista à definição de parâmetros de manutenção. Por isso, e do ponto de vista do controlo de sistemas pneumáticos, faz todo o sentido que este seja realizado por um PLC e como tal programado por um técnico que se encontre mais próximo da área produtiva ou da manutenção. Neste sentido, o controlo de sistemas eletropneumáticos pode ser realizado utilizando as metodologias de cascata e dos Mapas de *Karnaugh*, muita das vezes já perfeitamente dominadas pelos técnicos de manutenção e, como tal, facilmente implementados por estes técnicos mesmo que não possuam conhecimentos de ferramentas de modelação gráfica do tipo SFC. A implementação das memórias necessárias, quer pelo método de cascata quer pelo método de *Karnaugh*, são facilmente adaptáveis ao comando elétrico e, por isso, facilmente transpostas para os PLCs.

### REFERÊNCIAS

- [1] Adriano A. Santos e António Ferreira da Silva, *Automação Pneumática*, 2.ª edição. 2012, Porto, Publindústria;
- [2] Atlas Copco, *Atlas Copco Manual Compressed Air Engineering*. 1971;
- [3] Keith Stouffer et al, *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*. 2011, National Institute of Standards and Technology;
- [4] José Novais, *Método Sequencial para Automatização Electropneumática*, 5ª edição. 2007, Fundação Calouste Gulbenkian;
- [5] Adriano A. Santos, António Ferreira da Silva, *Automação Integrada*. 2012, Porto, Publindústria.