

# PROJETOS DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS BINÁRIOS UTILIZANDO O GRAFCET

## **Vitor Ferreira Romano**

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Depto. de Engenharia Mecânica, Lab. de Robótica,  
P.O. Box 68503, 21945-970 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: [romano@serv.com.ufrj.br](mailto:romano@serv.com.ufrj.br)

## **Paulo Rogério Araújo Guimarães**

Universidade Federal de Juiz de Fora, Colégio Técnico Universitário, Depto. De Mecânica,  
R. Bernardo Mascarenhas, 1283, Juiz de Fora, MG, Brasil. E-mail: [prag@mailctu.ufjf.br](mailto:prag@mailctu.ufjf.br)

## **Resumo**

Este trabalho apresenta uma proposta metodológica a ser empregada na elaboração de projetos de automação de sistemas mecânicos binários, baseada na elaboração de um diagrama de função seqüencial denominado GRAFCET. Apresenta como exemplo um projeto conceitual de um alimentador automático de chapas para prensas de estamparia em que as tecnologias operativa e de comando baseiam-se essencialmente na lógica binária associada à álgebra de Boole.

**Palavras-chave:** Automação; GRAFCET; Diagrama de função seqüencial; Pneutrônica.

## **1. INTRODUÇÃO**

Durante o processo de automação industrial pode-se ter a interação de componentes mecânicos, elétricos, eletrônicos, hidráulicos ou pneumáticos, gerenciados a partir de comandos lógicos. Esta interação de tecnologias busca uma solução otimizada para o problema que se apresenta, sendo que a cada aplicação deve-se enquadrar as tecnologias que melhor se adaptem.

Neste processo, surgem problemas na utilização simultânea destas tecnologias distintas. Diante disto, verificou-se a necessidade de se estudar métodos que favorecessem a melhoria da comunicação entre especialistas das diversas áreas envolvidas no processo de automação.

O desenvolvimento de ferramentas para análise e elaboração de projetos de sistemas automáticos busca a possibilidade de se executar todo o conceito e seqüência de funcionamento de um equipamento sem se ocupar da tecnologia a ser empregada. Neste contexto, as normas internacionais estabeleceram padrões gráficos para a representação de seqüências e funções lógicas.

Este trabalho propõe uma metodologia que facilite e otimize a elaboração de projetos de controle de sistemas mecânicos binários, auxiliando no processo decisório das tecnologias de comando a serem empregadas.

## **2. CENÁRIO DE APLICAÇÃO**

Ao se propor um projeto de automação de um equipamento ou de um processo é preciso primeiro conhecer o cenário de aplicação do mesmo, para que a solução tecnológica a ser apresentada satisfaça plenamente os interesses da automação.

É preciso ainda, verificar se o sistema caracteriza-se como um sistema binário, ou seja, a cada etapa do processo, um elemento só pode assumir duas condições mutuamente exclusivas. Por exemplo, num processo de estampagem de metais, a prensa só deve ser acionada se a chapa estiver corretamente posicionada na ferramenta. No caso, a chapa está na posição correta ou não. Desta forma, classifica-se as condições de funcionamento como **binárias**. Então, pode-se dizer que o funcionamento do sistema segue a *lógica binária*.

### 3. PROJETO INTEGRADO

À medida que se conhece o problema a ser solucionado por uma automação, bem como as condições necessárias para seu funcionamento, inicia-se a concepção do projeto. A partir da concepção inicial do equipamento automático, define-se as tecnologias operativas e de comando do mesmo, além de elaborar-se um esquema de instalação e a descrição de seu funcionamento.

#### 3.1 Tecnologia de Comando

Para definir-se qual tecnologia de comando empregar é preciso primeiro conhecer todas as etapas de funcionamento, assim como a complexidade do sistema. Por tratar-se de projetos que seguem a lógica binária, é possível elaborar-se todo o projeto lógico sem ocupar-se da tecnologia de comando a ser utilizada.

#### 3.2 Tecnologia Operativa

Para automação do sistema mecânico proposto neste artigo, emprega-se atuadores pneumáticos, os quais atuam como comandos binários, uma vez que as grandezas envolvidas adquirem somente dois valores significativos, como por exemplo: o cilindro está **avancado** ou **recuado**. A utilização destes sistemas binários, associados à álgebra *booleana* proporciona a utilização de uma linguagem e metodologia unificadas para representação e projeto de comandos binários, propiciando a integração dos comandos pneumáticos a estruturas mais complexas de automação industrial. A definição da tecnologia operativa a ser empregada passa pela verificação das características do mecanismo, como cargas e velocidades envolvidas.

#### 3.3 Esquema de Instalação

Definida a tecnologia operativa a ser empregada, parte-se para a elaboração da concepção construtiva do equipamento. Para isto, elabora-se um *esquema de instalação* do mesmo. Este esquema deve ser executado levando-se em consideração a seqüência de operações e as características e cursos a serem executados, de modo que a análise do funcionamento seja facilitada para o projetista. Nesta fase ainda não se deve ocupar com o dimensionamento estrutural e sim com as características funcionais.

A fig. 1 apresenta como exemplo o esquema de instalação de um alimentador pneumático de chapas, onde a manipulação das mesmas se dá pela sujeição à vácuo.

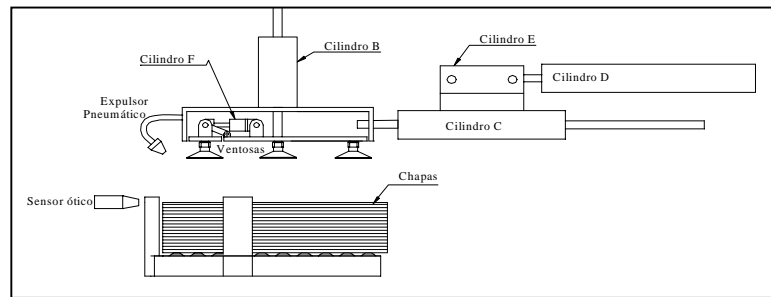


Figura 1. Esquema de Instalação de um Alimentador Pneumático de Chapas

### 3.4 Descrição do funcionamento

Baseados no esquema de instalação, elabora-se a descrição do funcionamento do mecanismo. A descrição deve ser sucinta e objetiva. Para o exemplo da fig. 1, o alimentador automático de chapas deve ter seu ciclo completado automaticamente na seguinte seqüência:

1. A partir de um sinal manual ou de um outro comando externo, inicia-se o ciclo com o avanço do cilindro B. O ciclo não deve ser iniciado sem que haja uma confirmação da existência de chapas no *magazine*.
2. Após tocar a chapa localizada no *magazine*, é aplicado vácuo ao conjunto de ventosas.
3. Cilindro B recua erguendo a chapa. Simultaneamente, o cilindro F é acionado flexionando a extremidade da chapa.
4. Expulsor emite o jato de ar para separação de chapas.
5. Cilindro F retorna à posição inicial.
6. Cilindro D avança, posicionando o carro alimentador em direção à prensa.
7. Cilindro C avança com a chapa em direção à matriz localizada na prensa, até que haja o posicionamento no sentido do eixo *x*.
8. Cilindro B avança e posiciona a chapa na ferramenta (eixo *y*).
9. Cilindro E avança para posicionamento transversal. (eixo *z*).
10. Cessa-se a aplicação do vácuo e as ventosas liberam a chapa.
11. Os cilindros B e E retornam simultaneamente.
12. Os cilindros C e D recuam simultaneamente.

### 3.5 Esquema de Montagem dos Atuadores

Baseado nas informações subtraídas do esquema de instalação e da descrição de funcionamento, elabora-se um esquema de montagem dos atuadores, associando a cada um dos atuadores os elementos de sinais responsáveis pela monitoração de seus estados. No exemplo da fig. 1, sendo o acionamento pneumático, elabora-se um esquema de circuito pneumático.

### 3.6 Representação Gráfica do Comando Seqüencial

A representação gráfica de um comando seqüencial tem por finalidade representar de uma forma sistemática a descrição do funcionamento do equipamento.

### 3.6.1 Diagrama Trajeto-Passo

O diagrama trajeto-passo apresenta a condição momentânea de cada atuador ao longo dos diversos passos que compõem o ciclo total do mecanismo. Por meio de linhas retas, indicamos se os atuadores permanecem recuados, avançados ou se estão em movimento num determinado instante do ciclo. Estes diagramas, usados tradicionalmente na pneumática e na eletropneumática são de simples elaboração e proporcionam uma visão clara da seqüência funcional do sistema. Porém, quando introduzimos uma série de condições para o funcionamento, como temporizações, saltos, funções simultâneas, este diagrama apresenta algumas limitações, tornando-se confuso e de difícil entendimento.

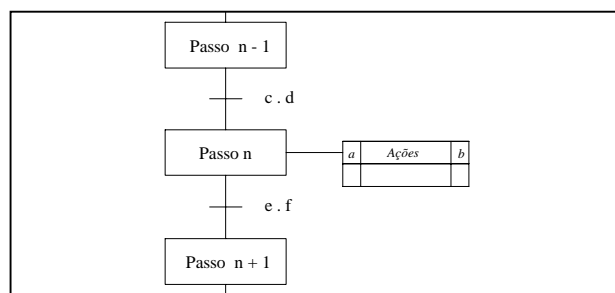
### 3.6.2 Diagrama de Função Seqüencial – GRAFCET

Na maioria dos casos, os projetos lógicos mecânicos são executados de forma intuitiva, empiricamente, apoiado basicamente em combinações lógicas padrões, onde o sucesso vai depender da experiência do projetista. Este método conduz normalmente a problemas no *start-up*, bem como a dificuldades de soluções de problemas durante manutenções.

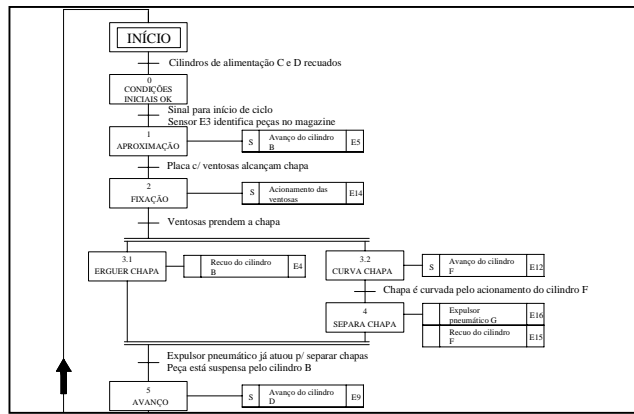
Com o GRAFCET, as seqüências são descritas de acordo com um diagrama com símbolos normalizados que mostram claramente os controles a serem implementados. Então, através de técnicas simples como mostrado por Bollmann (1995), o diagrama de fluxo pode ser transformado em circuitos reais, sejam pneumáticos, hidráulicos ou em diagramas de contatos.

### 3.6.3 GRAFCET Descritivo

O diagrama de função seqüencial deve seguir a representação básica de um conjunto de retângulos que representam uma **etapa** de um comando seqüencial. Cada etapa deve seguir uma numeração seqüencial de identificação e opcionalmente uma descrição sucinta do mesmo. Os retângulos representativos das Etapas serão interligados por retas, ou **ligações de vínculo orientadas** (LVO), e transversalmente a essas LVOs pequenos traços indicam a **transição** entre as etapas. A cada transição estará associada uma condição lógica para prosseguimento da seqüência, chamada **receptividade**, como definido por Blanchard (1996). Ao lado de cada etapa, no campo **ações** faz-se uma descrição sucinta das ações associadas a esta etapa (fig. 2). No campo **a** indica-se uma propriedade do sinal que gera a ação, como exemplo “S” indica que o sinal deve ser memorizado ao longo de uma ou mais etapas. O campo **b** é reservado para a indicação do elemento de sinal que confirma a realização da ação.

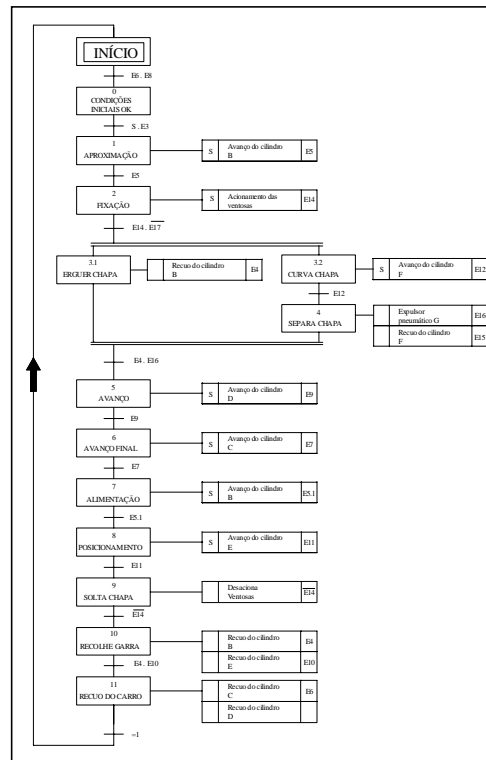


**Figura 2.** Bloco básico correspondente a uma etapa do GRAFCET, onde as equações booleanas *c . d* e *e . f* indicam a receptividade, ou condição lógica associada a cada transição



**Figura 3.** Detalhe do GRAFCET Descritivo

No GRAFCET descritivo insere-se a descrição de cada etapa na seqüência a realizar, além de associar-se a cada receptividade a descrição das condições lógicas para que ocorra a transição entre etapas. A fig. 3 apresenta o GRAFCET decriptivo para o exemplo considerado.



**Figura 4.** Gráfico de Função sequencial GRAFCET

### 3.6.4 GRAFCET

O GRAFCET descritivo facilita a intercomunicação entre as pessoas envolvidas no projeto, independente de sua área de formação, no entanto, para a execução técnica do projeto, necessita-se associar a cada condição lógica, um elemento de sinal. Daí, elabora-se outro diagrama (fig. 4) indicando os elementos de comando e sensores correspondentes às condições descritas no diagrama GRAFCET descritivo (fig.3).

### 3.7 Diagrama Lógico

De posse do GRAFCET, elabora-se o diagrama lógico, associando-se a cada etapa um módulo lógico correspondente.

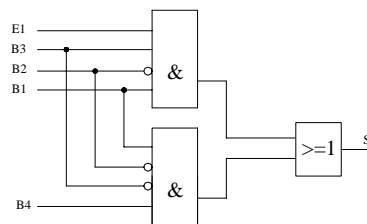
#### 3.7.1 Comando Combinatório para Início de Ciclo

Os comandos binários podem ser **combinatórios**, onde a *saída ocorre unicamente em função da combinação lógica dos sinais de entrada*, ou **seqüenciais**, onde *os comandos produzem uma seqüência predeterminada de ações*, como mencionado por Bollmann (1995).

Verifica-se no diagrama (fig. 4), que para o início da etapa 1, existe uma condição lógica associada denominada *senal para início de ciclo*. Esta condição lógica está representada no diagrama pela letra **S**, o qual é resultante de um comando combinatório, que deve considerar as condições impostas para a partida do equipamento. Elaborar-se então, uma tabela de correspondência lógica para as variáveis de entrada e de saída (S), para posterior montagem da tabela verdade. Daí, tem-se a equação booleana, que pode ser simplificada pelas propriedades da álgebra de Boole ou pelo Diagrama de Karnaugh-Veitch. A equação booleana simplificada será então convertida num símbolo lógico. Do trabalho de Guimarães (1999) para o exemplo citado, tem-se a seguinte condição lógica representada por sua equação booleana.

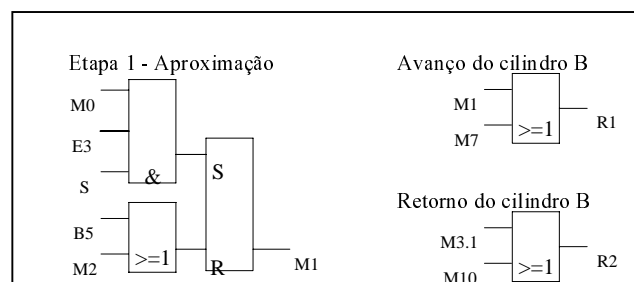
$$S = B1 \cdot \overline{B2} (E1 \cdot B3 + B4 \cdot \overline{B3})$$

O símbolo lógico será:



#### 3.7.2 Comando Seqüencial

Os comandos combinatórios e seqüenciais comporão o diagrama lógico do sistema. Para execução dos comandos seqüenciais, associa-se a cada etapa um módulo lógico correspondente. Como exemplo, utilizando o método passo a passo em que cada passo está associado a uma memória do tipo RS (*Set-Reset*), o bloco lógico da etapa 1 do Grafcet (*Aproximação*) é representado na fig. 5, onde o diagrama lógico será elaborado dividido em dois blocos, o de processamento de sinais e o de atuação externa, que serão apresentados lado a lado. O bloco lógico à esquerda representa o *módulo de processamento de sinais* e o bloco lógico à direita representa o *módulo de atuação externa*.





Assim como o projeto lógico, o dimensionamento mecânico tem forte influência no resultado final do mecanismo.

#### **4. CONCLUSÃO**

A metodologia proposta permite por meio da elaboração de um diagrama de função seqüencial, Grafcet, a descrição funcional do equipamento, além de mostrar com clareza, quais os controles a serem implementados. Permite ainda, que seja desenvolvido todo o conceito de funcionamento do equipamento sem se ocupar da tecnologias de comando e operativa que serão empregadas. Esta metodologia foi aplicada no trabalho de Guimarães (1999) apresentando resultados bastante satisfatórios.

Por meio de símbolos lógicos correspondentes, o GRAFCET pode ser convertido em outros diagramas lógicos, como diagrama elétrico, diagrama pneumático ou diagrama de contatos (*ladder diagram*).

A linguagem do GRAFCET permite a fácil comunicação entre os profissionais de várias áreas envolvidos com o processo de automação (engenheiros mecânicos e especialistas em controle, por exemplo).

A utilização da lógica binária permite por meio das propriedades da álgebra booleana e do diagrama de Karnaugh-Veitch, a simplificação da montagem do sistema lógico, acarretando num projeto tão simples quanto ele possa ser.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Blanchard, M., 1994, *Comprendre, maitriser et appliquer le GRAFCET*, Paris , Cépaduès-Éditions.
- Bollmann, A., 1995, *Fundamentos da automação Industrial Pneutrônica*, São Paulo, ABHP – Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática.
- Guimarães, P. R. A., 1999, Projeto de um alimentador Pneumático Utilizando o Método GRAFCET para determinação do Funcionamento de um Sistema Lógico Automático, Tese de mestrado COPPE/UFRJ.
- Keeton, W., Vicente, C., 1995 “Escolha de Tecnologia de Controle em Aplicações Pneumáticas”, *Revista ABHP – Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática*, n. 95, pp. 10-14, Set/Out.