



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

Faculdade de Engenharia Mecânica

José Nilton Gonçalves Diniz

**Proposta de um Sistema de Automação  
Aplicada a uma Furadeira**

CAMPINAS

2005

**José Nilton Gonçalves Diniz**

# **Proposta de um Sistema de Automação Aplicada a uma Furadeira**

Dissertação de Mestrado Profissional apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Mecânica, na Área de Instrumentação e Controle Industrial

**Orientador: Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO JOSÉ NILTON GONÇALVES DINIZ E ORIENTADA PELO PROF. DR. WALDEMIR SILVA DE LIMA

CAMPINAS

2005

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

D615p Diniz, José Nilton Gonçalves, 1966-  
Proposta de um sistema de automação aplicada a uma furadeira / José Nilton Gonçalves Diniz. – Campinas, SP : [s.n.], 2005.

Orientadores: Waldemir Silva de Lima e Waldemir Silva de Lima.  
Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

Em regime interinstitucional com: Universidade Estadual do Maranhão.

1. Automação. 2. Modelagem. 3. Modelos hidráulicos. I. Lima, Waldemir Silva de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Proposition of a system of applied automation a drill

**Palavras-chave em inglês:**

Automation

Modeling

Hydraulic models

**Área de concentração:** Instrumentação e Controle Industrial

**Titulação:** Mestre em Engenharia Mecânica

**Banca examinadora:**

Waldemir Silva de Lima [Orientador]

Kamal Abdel Radi Ismail

Valdemar Silva Leal

**Data de defesa:** 23-05-2005

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Mecânica

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-3166-7751>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/0950035670193086>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL**

# **Proposta de um Sistema de Automação**

## **Aplicada a uma Furadeira**

Autor: José Nilton Gonçalves Diniz

Orientador: Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

**Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima, Presidente**

**Universidade Estadual do Maranhão – UEMA**

**Prof. Dr. Kamal Abdel Radi Ismail**

**Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP**

**Prof. Dr. Valdemar Silva Leal**

**Universidade Estadual do Maranhão – UEMA**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 23 de Maio de 2005

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho à minha esposa e aos meus pais Neuton Diniz e Benedita Gonçalves Diniz, a meu irmão Lourival Gonçalves Diniz (in memoriam).

## **Agradecimentos**

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Ao meu orientador, que me mostrou os caminhos a serem seguidos.

A todos os professores, colegas e funcionários dos departamentos do DEMATI e DEMECP que de forma direta e indireta muito ajudaram na conclusão deste trabalho.

À minha esposa Thais, com muito carinho pela paciência e compreensão exigidas ao longo deste período de atividades e pelas sugestões na execução desta dissertação.

À UEMA pelo suporte na realização deste trabalho.

Não é paradoxo dizer que em nossos momentos mais teóricos podemos estar mais próximos de nossas aplicações mais práticas.

## **Resumo**

DINIZ, José Nilton Gonçalves, *Proposta de um Sistema de Automação Aplicada a uma Furadeira*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 59 p. Dissertação de Mestrado Profissional.

Este trabalho trata de técnicas aplicáveis ao projeto de sistemas automáticos, sobretudo daqueles que empregam componentes hidráulicos e pneumáticos. Para o caso prático de plantas discretas, as principais ferramentas de modelagem disponíveis para os projetistas de sistemas hidráulicos e pneumáticos da área de automação. A análise enfatiza: a) a complementaridade entre as ferramentas de projeto que descrevem aspectos funcionais e comportamentais; b) a utilização da Rede de Petri Canal/Agência para modelagem funcional de sistemas mecatrônicos; c) a utilização do diagrama Grafcet para a modelagem comportamental de Sistemas Discretos.

**Palavras Chave:** Automação, Modelagem, Modelos hidráulicos.

## **Abstract**

DINIZ, José Nilton Gonçalves, Proposition of a System of Applied Automation a Drill, Campinas: Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2004. 59 p. Master Thesis.

This work refers techniques applied to the design of automatic systems, especially those consisting of fluid power components. For the practical case of discrete plants, the work compares the main modeling techniques available for design of fluid power systems and automation. The analysis emphasizes: a) the complementary aspect of modeling tools that describe function and behavior; b) the use Channel/Instance Petri Nets for modeling functional aspects of mechatronic systems; c) the use of the Grafcet diagram for modeling behavioral aspects of discrete systems.

**Keywords:** Automation, Modeling, Hydraulic Models.

## Lista de Ilustrações

2.1	Esquema de instalação para dobramento de chapas (sistema discreto) .....	20
2.2	Diagramas pneumáticos do sistema de dobramento de chapas.....	24
2.3	Diagrama trajeto-passo do sistema de dobramento de chapas .....	24
2.4	Diagrama Ladder para sistema de dobramento de chapas .....	26
2.5	Interpretação de símbolos do diagrama Ladder .....	26
2.6	Grafcet para o sistema de dobramento de chapas .....	28
2.7	Ligação simples no diagrama Grafcet.....	31
2.8	Junção E no diagrama Grafcet .....	31
2.9	Distribuição E no diagrama Grafcet.....	32
2.10	Junção OU no diagrama Grafcet .....	32
2.11	Distribuição OU no diagrama Grafcet .....	32
2.12	Modelo funcional de Sistema automático .....	34
2.13	Esquema de instalação para o sistema de marcação de peças.....	34
2.14	Circuito pneumático para o sistema de marcação de peças .....	35
2.15	Esquema do painel de operação para o sistema de marcação de peças .....	36
2.16	Representação funcional do sistema de marcação de peças (parte de informação).....	37
2.17	Modelagem do CLP para os sistema de marcação de peças .....	39
3.1	Máquina de furação de peças .....	44
3.2	Esquema do painel de operação para o sistema de furação de peças (reapresentação) ..	46
3.3	Representação funcional para o sistema de furação de peças .....	47
3.4	Modelagem do CLP para o sistema de furação de peças .....	51

## **Lista de Tabelas**

2.1 Ferramentas gráficas de modelagem usadas na área de hidráulica e pneumática .....	17
2.2 Notação utilizada nos diagramas descritivos do sistema de dobramento de chapas .....	22
2.3 Trecho de lista nos diagramas descritivos do sistema de dobramentos de chapas .....	27
2.4 Notação da representação funcional para o sistema de marcação de peças. ....	37
2.5 Notação geral para o sistema de marcação de peças. ....	38
3.1 Notação da representação funcional para o sistema de furação de peças.....	47
3.2 Notação geral para o sistema de furação de peças.....	47

# Sumário

<b>1 Introdução</b> .....	13
1.1 Justificativa da pesquisa .....	13
1.2 Objetivos .....	14
1.3 Metodologia.....	14
<b>2 Revisão Bibliográfica</b> .....	15
2.1 Conceituação de Sistema Automático .....	15
2.2 Representação do Sistema Automático .....	16
2.3 Sistema Contínuo, Discreto e Híbridos .....	18
2.4 Ferramentas Usuais de Projeto de Sistema hidráulico e Pneumático de Caráter Discreto.....	21
2.5 A Representação Funcional do Sistema multitecnológico .....	33
2.6 Projeto de Sistema Hidráulico e Pneumático na Instalação e Marcação de Peças .....	34
<b>3 Estudo de caso: Proposta de um Sistema de automação aplicada a uma Furadeira</b> .....	41
3.1 Introdução .....	41
3.2 Sistema de Automação para Furação de Peças.....	43
<b>4 Conclusão e Sugestões para Próximos Trabalho</b> .....	52
4.1 Conclusão .....	52
4.2 Sugestões de Trabalhos Futuros .....	53
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	55

# 1 Introdução

## 1.1 Justificativa da pesquisa

A necessidade de alcançar crescentes níveis de qualificação e padronização, motivada por uma economia globalizada, tem levado diversas empresas dos setores industrial, agrícola e de serviços a considerarem a automação de seus processos e/ou produtos.

Este nível crescente de automação tem gerado um volume considerável de publicações que não se restringem ao âmbito tecnológico, como o presente trabalho, mas também a áreas como Administração e Ciências Sociais (FERREIRA, 1996 e DIB, 1996). Na área de Administração, discutem-se hoje diversos temas ligados ao impacto da automação, desde sua assimilação até sua eficácia como fator de competitividade. Na área de Ciências Sociais, os temas são extensos, passando desde a questão do desemprego até a abertura de novas formas de trabalho geradas pela automação.

Do ponto de vista tecnológico, a automação beneficiou-se não só com o incremento na capacidade de tratamento de informações, possibilitado pelo avanço da microeletrônica nas últimas décadas, como também, num processo paralelo, da integração multitecnológica envolvendo as áreas mecânicas, eletroeletrônica e de informática.

A característica multitecnológica dos sistemas automáticos impõe a necessidade de aplicação de ferramentas de projeto que contemplem o caráter multidisciplinar dos princípios operacionais e construtivos associados. Além disso, a utilização integrada das diversas ferramentas de modelagem constitui-se em um problema a ser resolvido quando se objetiva a sistematização da atividade de projeto.

Neste contexto, o presente trabalho envolve a discussão de técnicas aplicáveis ao projeto de sistemas automáticos de caráter discreto, sobretudo daqueles que empregam atuadores hidráulicos e pneumáticos.

Os componentes da hidráulica e pneumática (H&P) têm uso já consagrado na automação de processos e máquinas, justificados por características como confiabilidade, boas características dinâmicas e baixa relação peso/potência. Além disso, intensifica-se a utilização

conjunta de componentes hidráulicos e pneumáticos com dispositivos eletrônicos como sensores, transdutores e amplificadores. Controladores lógicos programáveis (CLP's) e com recursos computacionais.

## **1.2 Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo principal contribuir para a sistematização da atividade de projeto de sistemas automáticos envolvendo componentes hidráulicos e pneumáticos.

Nos objetivos específicos destacam-se as principais ferramentas de modelagem aplicáveis ao projeto de sistemas de automação hidráulicos e pneumáticos:

- a) A complementaridade entre as ferramentas de modelagem que descrevem aspectos funcionais e comportamentais;
- b) A utilização da Rede de Petri Canal/Agência (Rede C/A) como ferramenta de modelagem funcional para tratamento de sistemas multitecnológicos;
- c) A utilização do diagrama Grafcet (IEC 848) para a modelagem comportamental de Sistemas Discretos.

## **1.3 Metodologia**

Este Trabalho fundamenta-se nos conceitos de engenharia, projeto de sistemas automáticos, modelagem dinâmica de sistemas hidráulicos e pneumáticos e controladores lógicos programáveis. Dentre os conceitos optou-se pela metodologia da modelagem utilizando a rede Petri, o Grafcet e os controladores lógicos programáveis para automatização da máquina de furação de peças, visando contribuir para a sistematização de projetos.

Para a fase do projeto preliminar, que é o enfoque deste trabalho, compreende uma conceituação de sistema automático bem como uma caracterização mais detalhada dos sistemas hidráulicos e pneumáticos automáticos, as principais ferramentas de modelagens para os projetistas na área de automação e os problemas de complexidade dos sistemas concernentes à integração multitecnológica e ao projeto de controladores lógicos. Desta forma, apresenta-se ordenadamente os modelos a serem empregados.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Conceituação de Sistema Automático

O termo *sistema* tem uso difundido em diversos ramos do conhecimento e suas definições, ainda que variando conforme o autor, apresentam certas semelhanças. A definição escolhida para o presente trabalho foi apresentada em HUBKA & EDER (1988) e estabelece que: “*sistema* é um conjunto finito de *elementos* reunidos para formar um todo sob certas regras bem definidas, por meio das quais existem determinadas *relações* precisas definidas entre os elementos e para com seu ambiente. É possível que um sistema possa conter elementos isolados (com nenhuma relação com outros elementos) ou grupos isolados de elementos (grupos que não tem relações com outros elementos ou grupos dentro do conjunto). Os termos *elemento* e *sistema* são relativos. Um elemento também pode ser considerado como um sistema, e um sistema pode ser considerado como um elemento dentro de um sistema maior. Os sistemas são hierárquicos...”.

Dentro deste contexto existem os *sistemas técnicos* definidos por FREDERICK & CARLSON (1971) como: “... uma coleção organizada de unidades interagentes – possivelmente incluindo homens e máquinas – destinada a alcançar algum objetivo ou conjunto de objetivos através da manipulação e controle de materiais, energia e informação”.

A classe de sistemas técnicos abrangida neste trabalho é aquela que integra as tecnologias mecânica, eletro-eletrônica e informática, tendo recebido a denominação de sistemas mecatrônicos (BUUR & ANDREASEN, 1989) ou sistemas eletro-mecânicos controlados, (VRIES et alii, 1994). Em essência, os sistemas desta natureza possibilitam, através da eletrônica e da informática, a introdução de inteligência aos produtos tradicionalmente mecânicos, possibilitando um maior desempenho, flexibilidade e confiabilidade sem necessariamente aumentar os custos (VRIES et alii, 1994).

Neste trabalho emprega-se uma terceira denominação, a de *sistemas automáticos*, sendo o termo automático entendido em seu significado corrente (conforme o dicionário Aurélio): que se move, se regula ou opera por si mesmo. Neste sentido, não se especifica, necessariamente, a utilização integrada de tecnologias mecânicas, eletro-eletrônica e

informática; indica-se, tão somente que existe um certo grau de independência do ambiente externo, podendo envolver desde o controle de uma variável até a supervisão e controle de todo um processo. Entretanto, destaca-se que é crescente a integração tecnológica em sistemas automáticos, o que se deve, em parte, aos significativos avanços da microeletrônica nas décadas recentes. Tais avanços possibilitaram um aumento na capacidade de manipulação de informações, além de oferecer soluções de tamanho, peso e custos reduzidos numa gama crescente de produtos e processos.

## 2.2 Representação de Sistemas Automáticos

É usual, no âmbito da engenharia, a utilização de modelos para a descrição de sistemas técnicos. WILSON (1990) entende o modelo como “a interpretação explícita do entendimento de uma situação, ou meramente das ideias acerca daquela situação. Este pode ser expresso matematicamente, por símbolos ou por palavras, mas essencialmente é uma descrição de entidades, processos ou atributos e as relações entre eles. Este pode ser prescritivo ou ilustrativo, mas acima de tudo precisa ser útil”. Tal conceituação remete ao fato de que, mais ou menos formalizado, qualquer modelo é, em essência, parcial e fruto de determinada abstração, na medida em que apresenta sempre o sistema sob determinado enfoque, privilegiando um ou outro aspecto deste, enfatizando certos detalhes ou propriedades enquanto outros são suprimidos. Tais abstrações permitem, como indica BOOCH (1991), manipular a complexidade e facilitar a análise ou projeto de sistemas.

Segundo a análise apresentada em DE NEGRI (1996) na qual são discutidos os trabalhos de HENSON et alii (1994), HUBKA & EDER (1988) e KUMARA et alii (1989), no contexto do projeto de sistemas técnicos e de HAREL, (1987) e RUMBAUGH et alii (1991), relacionados com o desenvolvimento de software, a descrição de sistemas complexos tem sido subdividida segundo as *perspectivas estrutural, funcional e comportamental*, de tal modo que a junção dos três tipos de modelos correspondentes forneça a descrição técnica completa do sistema.

O *comportamento* de um sistema pode ser definido como a relação da entrada ou da excitação, proveniente do ambiente externo, com o estado interno e com a saída ou influência

que exerce sobre o ambiente externo segundo HENSON et alii (1994) e KUMARA et alii, (1989).

A perspectiva *funcional* é empregada para caracterizar o objetivo do comportamento do sistema frente ao usuário humano conforme HENSON et alii, (1994). A *função* refere-se, então, a algo mais perene, particularmente a capacidade, desejada ou existente, de desempenhar uma ação ou um conjunto de ações de acordo HUBKA & EDER (1988).

O termo *estrutura* designa o “... arranjo interno, ordem, organização, decomposição, segmentação, conformação, constituição ou construção de um sistema. No mesmo sentido, pode se falar de uma rede de elementos... Portanto, *estrutura* é um conjunto de elementos em um sistema e o conjunto de relações que conectam estes elementos com os outros”. HUBKA & EDER, (1988). Estas relações podem indicar conexões físicas ou de comunicação ou relações hierárquicas para auxiliar as possíveis associações conceituais que podem ser estabelecidas entre os componentes conforme DE NEGRI, (1996).

Para ilustrar a diferença entre os dois termos acima, emprega-se o exemplo de uma válvula de segurança de uma caldeira apresentado por HENSON et alii, (1994). A *função* de uma válvula de segurança de uma caldeira (*o que a válvula faz?*) é evitar uma explosão. O seu *comportamento* (*como e quando as funções são executadas?*) é que abra quando a pressão da caldeira for maior que a pressão limite:  $P_{\text{cald}} > P_{\text{lim}}$ . A *estrutura* da válvula compreende a sua constituição física e indica *onde* as funções são implementadas.

Os modelos em engenharia podem privilegiar uma ou mais destas perspectivas. A Tabela 2.1 (DE NEGRI & VIEIRA, 1997) ilustra exemplos de modelos empregados em hidráulica e pneumática.

**Tabela 2.1** – Ferramentas gráficas de modelagem usadas na área de hidráulica e pneumática, DE NEGRI & VIEIRA (1997).

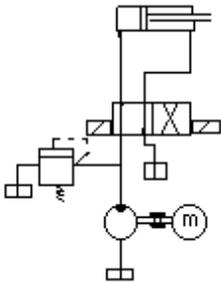
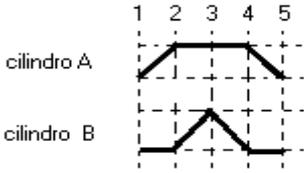
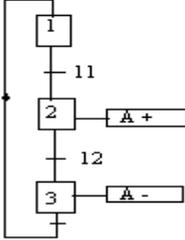
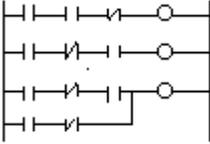
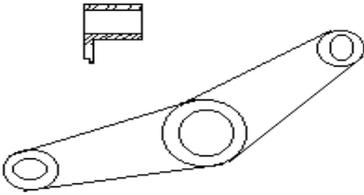
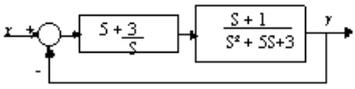
Denominação	Exemplo	Para que é utilizado	Quando é usado
Diagrama de Circuitos Hidráulicos e Pneumáticos		<p>Representar a função de cada componente do sistema e a interconexão destes a fim de atender a finalidade global do sistema.</p> <p><i>Perspectiva Funcional</i></p>	Na apresentação de circuitos hidráulicos e pneumáticos

Diagrama Trajeto-Passo		<p>Representar o funcionamento do sistema, ou seja, quando as funções são realizadas.</p> <p><i>Perspectiva Comportamental</i></p>	<p>Na representação de operações sequenciais</p>																																				
Tabela Verdade	<table border="1" data-bbox="600 454 743 703"> <thead> <tr> <th>E3</th> <th>E2</th> <th>E1</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	E3	E2	E1	A	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	<p>Descrever o comportamento dos atuadores como resultado da combinação lógica dos elementos de sinal</p> <p><i>Perspectiva Comportamental</i></p>	<p>Na representação de operações combinatórias.</p>
E3	E2	E1	A																																				
0	0	0	1																																				
0	0	1	0																																				
0	1	0	1																																				
0	1	1	1																																				
1	0	0	0																																				
1	0	1	0																																				
1	1	0	1																																				
1	1	1	0																																				
Diagrama Grafcet		<p>Descreve o comportamento dos atuadores como resultado da combinação lógica dos elementos de sinal e do estado do sistema.</p> <p><i>Perspectiva Comportamental</i></p>	<p>Na representação de operações sequenciais</p>																																				
Diagrama de contatos (Ladder)		<p>Equivalente a tabela ou ao Grafcet</p> <p><i>Perspectiva Comportamental</i></p>	<p>Na representação de operações combinatórias e sequenciais</p>																																				
Desenho Técnico		<p>Representa as dimensões físicas dos diversos componentes e seus posicionamentos relativos</p> <p><i>Perspectiva Estrutural</i></p>	<p>Na representação da construção física do sistema</p>																																				
Diagrama dos Blocos		<p>Descreve a resposta no tempo dos diversos componentes do sistema e do próprio sistema, em decorrência de sinais de referência</p> <p><i>Perspectiva Comportamental</i></p>	<p>Na análise e determinação da resposta dinâmica do sistema contínuo</p>																																				

### 2.3 Sistemas Contínuos, Discretos e Híbridos

Sob a perspectiva comportamental, os modelos podem ser subdivididos em transformativos e reativos. Os modelos transformativos ou a estado contínuo descrevem o

sistema através de equações elementares e de suas interconexões, sendo estas equações definidas para todo o tempo (modelos contínuos no tempo) ou definidas ou usadas em pontos discretos no tempo, modelos discretos no tempo, BROGAN, (1985). Exemplos destes modelos são a Função de Transferência e a descrição por Variáveis de Estado enquadrado na Teoria de Controle.

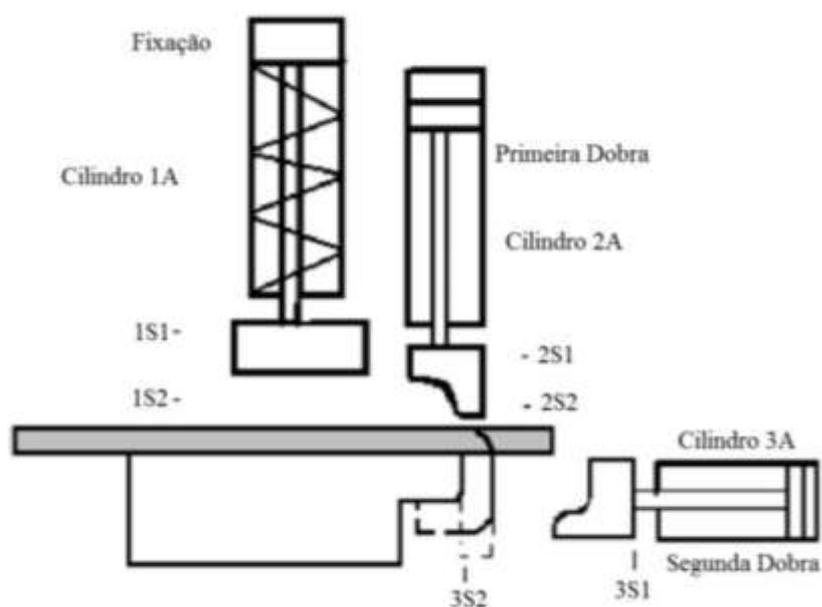
Os modelos reativo ou estado discreto representam os possíveis estados que o sistema pode assumir, sendo a mudança de estado e as saídas produzidas pelo sistema decorrentes da combinação lógica de entradas (eventos e condições) e do estado em que o sistema se encontra (DE NEGRI, 1996). Exemplos destes modelos são a Rede de Petri marcada (PETERSON, 1981), o diagrama de transição de estados (diagrama de estados) (WALDSCHMIDT, 1980) e o diagrama Grafcet (IEC, 1988 e DAVID & ALLA, 1989). Estes modelos mostram explicitamente a sequência com que ocorrem os estados e saídas, sem estabelecer normalmente uma relação direta com o tempo.

Os sistemas híbridos, segundo a caracterização de KROGH & NIINOMI (1994), são aqueles compostos por sistemas a estado contínuo interconectados com sistemas a estado discreto.

#### Exemplo de Sistema Hidráulico e Pneumático.

Os circuitos hidráulicos e pneumáticos estão inseridos usualmente nos sistemas mecatrônicos, quer por fazerem parte de sistemas constituídos de atuadores e sensores de princípios construtivos diversos, quer por normalmente serem interligados a componentes eletrônicos de controle (controladores lógicos programáveis (CLP's), por exemplo.

Além do caráter mecatrônico, os sistemas hidráulicos e pneumáticos podem assumir características híbridas, pois entre seus componentes de atuação encontram-se tanto componentes com ação discreta (por exemplo: válvulas direcionais) como componentes de ação contínua (por exemplo: servoválvulas e válvulas proporcionais). Um exemplo de sistema discreto é mostrado na figura 2.1



**Figura 2.1** – Esquema de instalação para dobramento de chapas (sistema discreto)

(BOLLMANN, 1998)

Esta figura 2.1 ilustra o dobramento de uma chapa que se dá através de uma sequência de acionamentos dos cilindros *1A* (que segura a peça), *2A* e *3A* (que efetivamente executam as dobras). O sistema pode ser caracterizado como discreto, pois os cilindros só assumem dois estados (avançados e recuado). A peça também só apresenta estados discretos ( não dobrada, com uma dobra e com duas dobras). São apresentadas ainda na figura 2.1, com a letra *S*, os sensores que indicam o fim de curso dos cilindros.

Os sistemas discretos, como o acima mostrado, serão os tratados ao longo do presente trabalho. O capítulo a seguir inicia esta análise apresentando as principais ferramentas de modelagem utilizadas pelos projetistas de sistemas hidráulicos e pneumáticos e da área de automação.

Historicamente, os estudos relativos à modelagem e controle de sistemas a estado contínuo são anteriores aos sistemas a estado discreto. O primeiro trabalho significativo em controle automático (de sistemas contínuos) James Watt, que construiu um controlador centrífugo para controle de rotação de uma máquina a vapor no século XVIII. No aspecto teórico, podem ser citados os trabalhos relativos à análise de estabilidade desenvolvidos entre 1860 e 1870 por J. C. Maxwell e E. J. Routh e posteriormente ( a partir de 1893), os trabalhos de A. M. Lyapunov. No século XX (décadas de 30 e 40), valem menção os trabalhos de

Nyquist, também na parte de estabilidade, e de H. W. Bode, na parte de métodos de resposta em frequência (FRANKLIN et alii, 1994). O método conhecido como **Root-locus** (lugar das raízes) na teoria de controle foi completamente desenvolvido no fim dos anos 40 e no início dos anos 50, onde se destacam os trabalhos de W. R. Evans OGATA (1982).

A modelagem e controle de sistemas a estado discreto é bem mais recente, sendo bem mais difícil uma pesquisa histórica nesta área. Citam-se ao leitor, como referências indicativas, algumas datas. A Rede Petri, base para o diagrama Grafcet (expressivo para modelagem na área de hidráulica e pneumática), deriva dos trabalhos de C. A. Petri no início dos anos 60.

O estudo teórico de sistemas híbridos é ainda mais recente, sendo ainda difícil estabelecer uma cronologia dos seus avanços.

Com a finalidade de enfatizar os pontos abordados no presente capítulo e que serão úteis na análise do capítulo a seguir, procede-se, neste ponto, a uma síntese.

A seção 2.1 permitiu uma conceituação de sistema e em particular de sistemas técnicos. Para estes foi ressaltados sua interação com o meio externo em termos de informação, energia e matéria. Procede-se ainda a conceituação de *sistemas automáticos* e observou-se a característica multitecnológica apresentada por tais sistemas nos dias de hoje.

Da seção 2.2, que tratou da representação de *sistemas automáticos*, foi possível caracterizar os modelos diagramáticos de sistemas segundo as perspectivas funcional, comportamental e estrutural. Adianta-se que tal caracterização será útil para a análise de modelos diagramáticos, que será realizada no próximo capítulo.

Da seção 2.3 ressalta-se a caracterização de *sistemas discretos, contínuos e híbridos* e a aplicabilidade dos componentes hidráulicos e pneumáticos para estes sistemas.

## **2.4 Ferramentas Usuais de Projeto de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos de Caráter Discreto.**

Os sistemas hidráulicos e pneumáticos de caráter discreto podem apresentar uma configuração na qual as saídas são perfeitamente determinadas unicamente pelos sinais de

entrada; ou uma configuração mais complexa, onde as saídas são determinadas não apenas da combinação dos sinais de entrada, mas também do estado interno do sistema. Nestes sistemas, aqui diretamente tratados, é possível que existam saídas diferentes para a mesma combinação dos sinais de entrada.

Na área de automação de sistemas hidráulicos e pneumáticos de caráter discreto, os modelos mais usualmente empregados são:

- Diagrama de Circuitos (ISO 1219 – ISO 1219-2);
- Diagrama Trajeto-Passo;
- Ladder;
- Lista de instruções (statement list);
- Grafcet.

Com a finalidade de apresentar a estrutura básica destes modelos será dado um exemplo ilustrativo simples. A figura 2.1, já apresentada anteriormente, representa o processo que se deseja abordar.

Como comentado anteriormente, o sistema visa efetuar dois dobramentos sobre uma chapa. Para o problema em questão são estabelecidas as seguintes especificações:

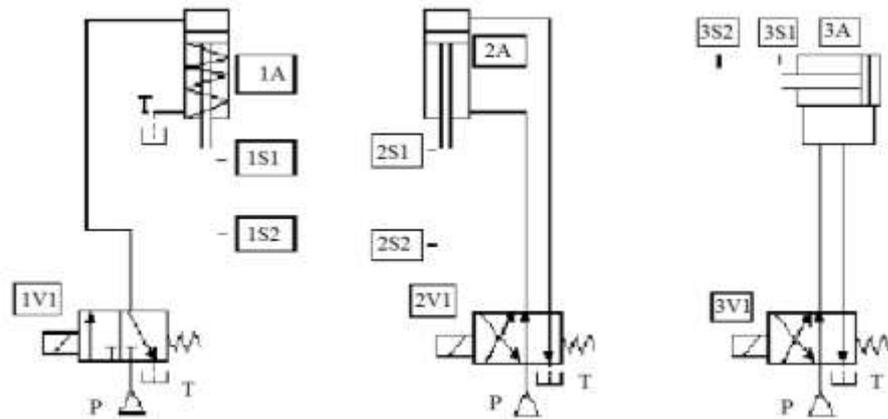
- A chapa é colocada manualmente;
- O início do processo só deve ocorrer após o botão de início (não mostrado na figura) ser pressionado pelo operador;
- Após a fixação da peça o cilindro 1A, de ação simples, realiza-se a primeira dobra com o cilindro 2A, de ação dupla;
- Uma vez efetuado o retorno do cilindro 2A, procede-se o segundo dobramento da chapa com o cilindro 3A;
- A peça é solta (retorno do cilindro 1A) após o completo recuo do cilindro 3A;
- Um novo ciclo só deve começar após o retorno completo do cilindro 1A;
- Deseja-se que seja utilizado um controlador lógico programável (CLP) para processamento de informações.

Para o problema em questão utiliza-se a notação do Tabela 2.2

**Tabela 2.2** – Notação utilizada nos diagramas descritivos do sistema de dobramento de chapas.

NOTAÇÃO	DESCRIÇÃO
1A	Cilindro pneumático de ação simples e retorno por mola. O cilindro 1A fixa a peça a ser dobrada.
2A	Cilindro pneumático de ação dupla. O cilindro 2A executa a primeira dobra na peça.
3A	Cilindro pneumático de ação dupla. O cilindro 3A executa a segunda dobra na peça.
1V1	Válvula pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 1V1 está ligada ao cilindro 1A e determina o seu avanço ou retorno.
2V1	Válvula pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 2V1 está ligada ao cilindro 2A e determina o seu avanço ou retorno.
3V1	Válvula pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 3V1 está ligada ao cilindro 3A e determina o seu avanço ou retorno.
Y1, Y1'	Y1 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 1V1. Quando o solenóide está energizado ( $Y1=1$ ), a válvula 1V1 determina o avanço do cilindro 1A. Quando o solenóide está desenergizado tem-se $Y1=0$ (o que significa o recuo do cilindro 1A). A variável booleana Y1' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y1 (assim quando $Y1=1$ tem-se $Y1'=0$ e vice-versa).
Y2, Y2'	Y2 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 2V1. Quando o solenóide está energizado ( $Y2=1$ ), a válvula 2V1 determina o avanço do cilindro 2A. Quando o solenóide está desenergizado tem-se $Y2=0$ (o que significa o recuo do cilindro 2A). A variável booleana Y2' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y2 (assim quando $Y2=1$ tem-se $Y2'=0$ e vice-versa).
Y3, Y3'	Y3 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 3V1. Quando o solenóide está energizado ( $Y3=1$ ), a válvula 3V1 determina o avanço do cilindro 3A. Quando o solenóide está desenergizado tem-se $Y3=0$ (o que significa o recuo do cilindro 3A). A variável booleana Y3' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y3 (assim quando $Y3=1$ tem-se $Y3'=0$ e vice-versa).
1S1	1S1 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 1A (de mesma designação) está energizado ( $1S1=1$ ), o que significa que o cilindro 1A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se $1S1=0$ (o que significa que o cilindro 1A não está totalmente recuado).
1S2	1S2 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 1A (de mesma designação) está energizado ( $1S2=1$ ), o que significa que o cilindro 1A está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se $1S2=0$ (o que significa que o cilindro 1A não está totalmente avançado).
2S1	2S1 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 2A (de mesma designação) está energizado ( $2S1=1$ ), o que significa que o cilindro 2A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se $2S1=0$ (o que significa que o cilindro 2A não está totalmente recuado).
2S2	2S2 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 2A (de mesma designação) está energizado ( $2S2=1$ ), o que significa que o cilindro 2A está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se $2S2=0$ (o que significa que o cilindro 2A não está totalmente avançado).
3S1	3S1 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 3A (de mesma designação) está energizado ( $3S1=1$ ), o que significa que o cilindro 3A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se $3S1=0$ (o que significa que o cilindro 3A não está totalmente recuado).
3S2	3S2 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 3A (de mesma designação) está energizado ( $3S2=1$ ), o que significa que o cilindro 3A está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se $3S2=0$ (o que significa que o cilindro 3A não está totalmente avançado).
BO	BO é a variável booleana que indica que o botão de início do processo foi pressionado pelo operador ( $BO=1$ ).

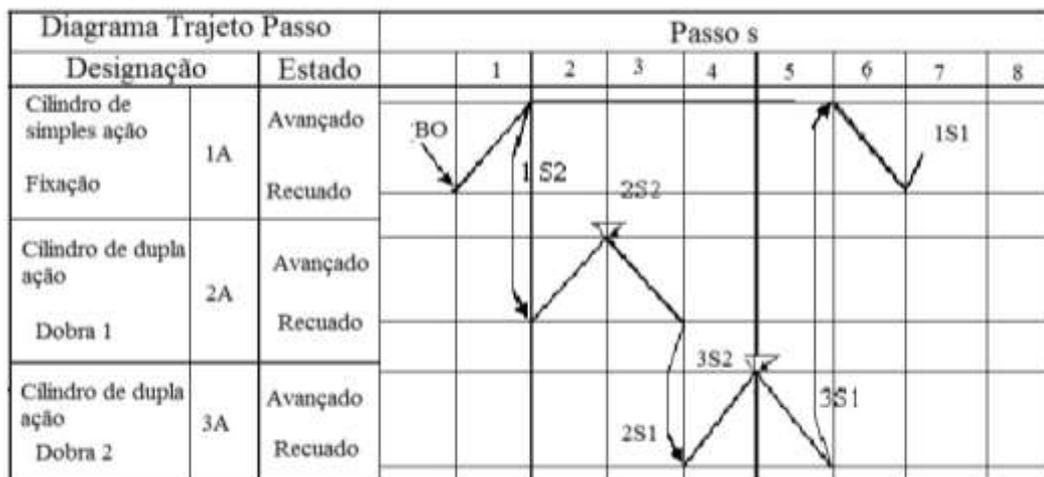
Para a representação de circuitos hidráulicos e pneumáticos é usual a utilização dos Diagramas de Circuitos, que se baseiam nas normas ISO 1219-1 (1991) e ISO 1219-2 (1995). Para o sistema de dobramento de chapas, pode-se construir um Diagrama de Circuitos como o apresentado na figura 2.2, utilizando a notação da Tabela 2.2.



**Figura 2.2** – Circuitos Pneumáticos do sistema de dobramento de chapas

A representação de componentes hidráulicos e pneumáticos utilizando as normas citadas permite uma caracterização precisa do seu tipo (número de vias, acionamento, etc) sem, no entanto, especificar a estrutura interna. Do diagrama da figura 2.2 pode-se, por exemplo, identificar o cilindro 1A como sendo de ação simples, retorno por mola com seus fins de curso 1S1 e 1S2. Pode-se identificar ainda que este cilindro encontra-se ligado à válvula 1V1 de duas posições, três vias, com acionamento por solenóide e retorno por mola.

A representação do comportamento do sistema através do diagrama trajeto-passo é mostrada na figura 2.4 (utilizando a notação da Tabela 2.2).



**Figura 2.3** – Diagrama trajeto-passo do sistema de dobramento de chapas.

Este diagrama permite que se descreva o *comportamento* do sistema de forma gráfica. Na figura 2.3, para cada cilindro é mostrado um gráfico com dois níveis representando as situações de cilindro avançado e de cilindro recuado. As variáveis representadas com a letra S estão associadas aos fins de curso dos cilindros e a variável BO indica que o botão de início do processo foi pressionado pelo operador (ver notação na Tabela 2.2). A expressão *fim de curso*, usada anteriormente, está relacionada ao sinal (normalmente elétrico) de um sensor, indicando que o cilindro chegou ao fim de um dos seus cursos (de avanço ou de retorno). A variável 2S2, por exemplo, indica que o cilindro 2A chegou ao final de seu curso de avanço, ou seja, encontra-se distendido.

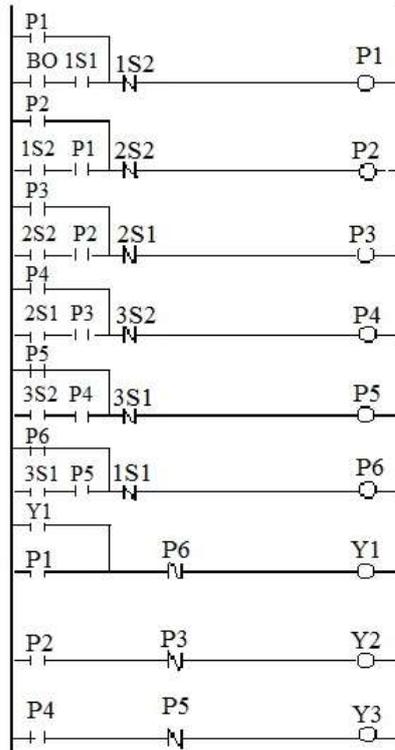
Do diagrama pode-se observar ainda que todos os cilindros estão inicialmente recuados. Na sequência, observa-se que, ocorrendo BO (ou seja, BO=1, indicando que o operador deu início ao processo), o gráfico do cilindro 1A evolui para a situação de avançado.

De forma análoga, pode-se identificar sucessivamente toda sequência de evolução do sistema em função da ocorrência dos sinais dos sensores de fim de curso. Fica assim descrito, na forma de gráficos, o comportamento completo do sistema.

- Da mesma forma que o diagrama trajeto-passo, o diagrama Ladder é uma ferramenta de modelagem que descreve o comportamento do sistema. Sua utilização é muito comum para a programação da maioria dos CLP's disponíveis no mercado.
- O CLP é aqui entendido, de forma preliminar, como um equipamento eletrônico que processa informações. As entradas de informação ao CLP são os sinais provenientes dos sensores (ou do operador) e as saídas, neste caso, são sinais que, enviados aos solenóides das válvulas, comandam o avanço ou retorno dos cilindros. Com relação ao tratamento de sinais entrada e saída do CLP, destaca-se que é comum a ligação direta de sensores elétricos a CLP's e de CLP's a solenóides de válvulas sem a necessidade de amplificadores ou componentes específicos de tratamento de sinais. Esta facilidade decorre de uma certa padronização dos componentes e da agregação ao próprio componente de estruturas de tratamento de sinais. No caso geral, entretanto, a interface entre os componentes deve ser analisada. Para o presente trabalho, admite-se que a ligação entre os componentes é direta, sem a necessidade de unidades de interfaceamento.
- Outro ponto a observar é que, apesar da representação comportamental de controladores lógicos apresentados ao longo do trabalho ser voltada para dispositivos eletrônicos, nada impede que sua implementação possa ser realizada com circuitos hidráulicos e pneumáticos

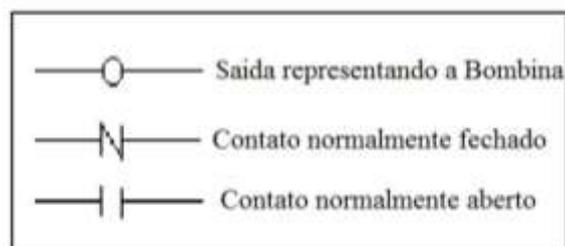
lógicos. Esta implementação é particularmente comum em instalações industriais de pequeno porte ou em aplicações onde o uso de energia elétrica é proibitivo.

- O diagrama Ladder da figura 2.4 (notação segundo a Tabela 2.2) descreve uma programação possível do CLP para o exemplo em estudo.



**Figura 2.4** - Diagrama Ladder para sistema de dobramento de chapas

- O diagrama Ladder é análogo aos sistemas de Relés físicos, de modo tal que é possível a correspondência de seus elementos como mostrado na figura 2.5.



**Figura 2.5** – Interpretação de símbolos do diagrama Ladder

No diagrama da figura 2.4, cada linha corresponde a uma equação Booleana e é associada a cada variável interna (aqui designada com a letra P) ou de saída do CLP (Y1, Y2 e Y3). A variável dependente é representada por círculos. Assim, a primeira linha do diagrama representa a equação  $P1 = (P1 + (BO \& 1S1)) \& 1S2'$ . As variáveis com letra S e a variável BO já foram comentadas anteriormente (ver também notação na Tabela 2.2) e constituem as variáveis independentes (entradas do CLP).

As variáveis de saída do CLP (Y1, Y2 e Y3) estão associadas aos sinais elétricos para energizar os solenóides das válvulas 1V1, 2V1 e 3V1 respectivamente (ver também notação da Tabela 2.2). A variável Y1=1, por exemplo, indica que um sinal elétrico está sendo enviado ao solenóide da válvula 1V1, energizando-o. Quando o solenóide está energizado, a válvula permite a comunicação do ar a alta pressão para o cilindro 1A, o que determina o seu avanço (ver figura 2.2). A variável Y1' representa simplesmente a anulação do sinal elétrico do solenóide, desenergizando-o. Neste caso, a válvula 1V1 retorna por efeito de mola, ocorrendo como seqüência o retorno do cilindro 1A.

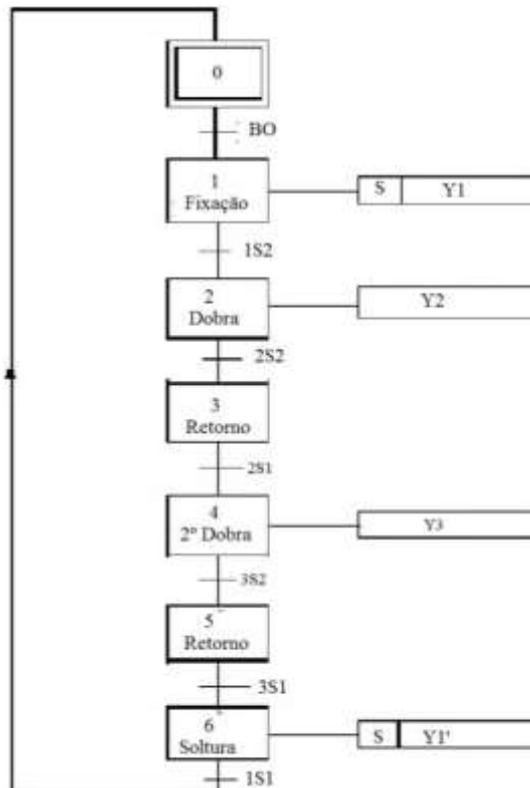
De forma equivalente ao diagrama Ladder da figura anterior pode-se descrever a programação do CLP através de lista de instruções ou através de linguagens de programação usuais (*basic*, *FORTRAN* etc.). A figura 2.6 apresenta um trecho da lista de instruções para este sistema.

<p><b>IF</b>  <b>[(BO AND 1S1) OR P1]</b>  <b>AND (NOT 1S2)</b>  <b>THEN</b>  <b>SET P1</b></p>
---

**Tabela 2.3** – Trecho de lista de instruções para o sistema de dobramento de chapas

A lista de instruções é uma descrição semelhante a uma programação em linguagem *basic*, com pequenas variações dependendo do fabricante do CLP. A principal desvantagem da lista de instruções deriva do fato dela não ser uma representação gráfica, sendo muitas vezes sua interpretação não tão trivial e imediata.

A descrição do programa CLP pode ainda ser dada através do diagrama Grafcet da figura 2.6 com notação segundo a Tabela 2.2.



**Figura 2.6 - Grafcet para o sistema de dobramento de chapas**

O Grafcet (DAVID & ALLA, 1989) é um diagrama derivado da Rede de Petri (PETERSON, 1981) e tornou-se para norma internacional IEC-848 (1988), sob a denominação de diagrama funcional. A norma alemã DIN 40719-6, na edição de 1992, agregou integralmente (em seus capítulos 1 a 8) o texto da IEC-848 (1988), uniformizando estas formas (para o presente trabalho convencionou-se que a designação *diagrama Grafcet* será referida aos diagramas construídos segundo as normas IEC ou DIN 40719-6).

Este diagrama contém dois tipos básicos de estruturas (passos e transições) ligados por arcos orientados (quando a orientação é omitida, presume-se que é de cima para baixo). Cada passo é representado por um quadrado e pode estar nas situações ativado e desativado. O passo inicial (que está ativado na situação inicial) é representado por um quadrado duplo. No caso do diagrama da figura 2.6, por exemplo, o quadrado marcado com o número 0 representa o passo inicial.

A cada passo do diagrama Grafcet pode ser associada uma ação ou comando representado por um retângulo anexo ao passo. No caso do diagrama da figura 2.6, por exemplo, o retângulo anexo ao passo marcado com o número 2 é o comando associado a este passo. A variável Y2 identifica o comando. Isto significa que quando o passo 2 do diagrama Grafcet estiver ativado o CLP deve enviar um sinal energizando o solenóide da válvula 2V1 (ver notação da variável Y2 na Tabela 2.2).

A transição de um passo a outro só ocorre (é disparada) se:

- Todos os passos, cuja saída está ligada à entrada da transição, estiverem ativados;
- A condição associada à transição for satisfeita.

O disparo de uma transição promove a desativação dos passos que a precedem e a ativação dos passos que a sucedem. A condição associada à transição pode envolver uma expressão ou variável booleana. A condição associada à transição do passo 0 ao passo 1 do diagrama Grafcet da figura 2.6, por exemplo, envolve a variável booleana BO. Isto significa, para o exemplo em estudo, que a transição do passo 0 ao passo 1 do diagrama Grafcet da figura 2.6 só será disparada se o passo 0 estiver ativado e variável booleana BO tiver valor 1. Neste caso (passo 0 ativado e BO=1), o disparo da transição promove a desativação do passo 0 (que a precede) e a ativação do passo 1 (que a sucede).

Cabe observar que a norma IEC-848 também permite que a condição associada à transição possa envolver a ocorrência de um evento, como por exemplo, a mudança de nível de uma variável booleana. Assim, se no diagrama da figura 2.6 a condição associada à transição do passo 0 ao passo 1 fosse  $BO\uparrow$  (Designa-se por  $BO\uparrow$  o evento relacionado a mudança de nível da variável booleana BO de 0 para 1) ao invés de BO, a transição só dispararia caso o passo 0 estivesse ativado e (nesta situação) ocorresse o evento  $BO\uparrow$ .

No diagrama os comandos Y1, Y2 e Y3 estão associados aos sinais que energizam os solenóides das válvulas 1V1, 2V1 e 3V1 respectivamente (do mesmo modo como foi descrito anteriormente para o diagrama Ladder).

Como ilustração do comportamento do CLP representado no diagrama Grafcet da figura 2.6 considera-se a seguinte sequência:

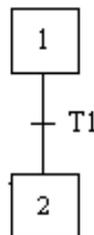
- Inicialmente o passo 0 está ativado mas a ele não está associado nenhuma ação ou comando;
- Quando o operador pressionar o botão de início, a variável booleana BO assumirá o valor 1;
- Com o passo 0 ativado e BO=1, é disparada entre a transição os passos 0 e 1. O disparo desta transição, como foi dito acima, promove a desativação do passo 0 e a ativação do passo 1;
- Ao passo 1 está associado o comando identificado por Y1. Isto significa, que ao ser ativado o passo 1, o CLP envia um sinal energizando o solenóide da válvula 1V1, fazendo avançar o cilindro 1A. A letra S colocada do lado esquerdo do retângulo significa que esta ação (ou comando) deve permanecer memorizada (**stored**) mesmo se o passo for desativado. Isto significa que, neste caso, mesmo que o passo 1 seja desativado, Y1 continuará com o valor 1, ou seja, o CLP continuará mantendo o solenóide da válvula 1V1 energizado. O solenóide da válvula 1V1 só será desenergizado quando houver uma instrução para tal, o que ocorrerá quando o passo 6 for atingido;
- Quando o cilindro 1A chegar ao fim de seu curso, a variável booleana 1S2 assumirá o valor 1 (ver notação da variável 1S2 no Tabela 2.2);
- Com o passo 1 ativado e 1S2=1, é disparada a transição entre os passos 1 e 2. O disparo desta transição promove a desativação do passo 1 e a ativação do passo 2;
- Ao passo 2 está associado o comando identificado por Y2. Isto significa, que ao ser ativado o passo 2, o CLP envia um sinal energizando o solenóide da válvula 2V1, fazendo avançar o cilindro 2A (ver notação da variável na Tabela 2.1);
- Quando o cilindro 2A chegar ao fim de seu curso, a variável booleana 2S2 assumirá o valor 1 (ver notação da variável 2S2 na Tabela 2.1);
- Com o passo 2 ativado e 2S2=1, é disparada a transição entre os passos 2 e 3. O disparo desta transição promove a desativação do passo 2 e a ativação do passo 3;
- Ao passo 3 não está associado nenhum comando. O comando identificado por Y2' que determina o recuo do cilindro 2A (que é a ação esperada para esta situação em face da

descrição do problema) pode ser omitido. Isto se deve ao fato de que fica implícito que, ao ser desativado o passo 2, desaparece também o sinal que energiza o solenóide da válvula 2V1, o que determina o recuo do cilindro 2A. Em outras palavras, na reação do CLP está implícito o comando identificado por Y2' associado ao passo 3 (ver notação da variável Y2' no Tabela 3.1); A inclusão de um comando identificado por Y2' associado ao passo 3 no diagrama da figura 3.7 não estaria errada, apenas redundante;

- Quando o cilindro 2A chegar ao fim de seu curso de retorno, a variável booleana 2S1 assumirá o valor 1 (ver notação da variável 2S1 no Tabela 2.2) dando sequência ao processo. Pode-se, de forma semelhante, interpretar o restante do diagrama da figura 2.6 que representa o comportamento do CLP.

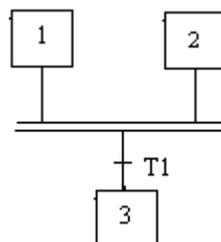
O diagrama permite representar diversas ligações entre os passos como mostrado nas figuras 2.7 a 2.11, baseadas em DAVID (1995).

A figura 2.7 indica que: para que o passo 2 seja ativado, é necessário que o passo 1 esteja ativado e a transição T1 seja disparada.



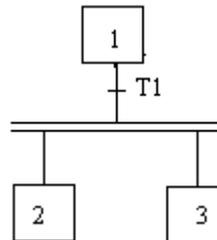
**Figura 2.7 - Ligação simples**

A figura 2.8 indica que: para que o passo 3 seja ativado, é necessário que o passo 1 e o passo 2 estejam ativados e a transição T1 seja disparada.



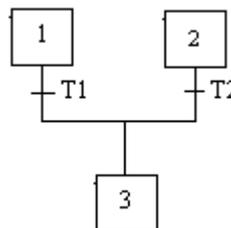
**Figura 2.8 – Junção E no diagrama Grafcet**

A figura 2.9 indica que: para que o passo 2 e 3 sejam simultaneamente ativados, é necessário que o passo 1 esteja ativado e a transição T1 seja disparada. Neste caso, a evolução do sistema a partir do passo 1, será o passo 2 e (paralelamente) para o passo 3, quando ocorrer o disparo da transição T1.



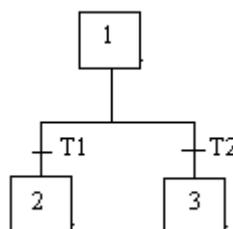
**Figura 2.9** – Distribuição E no diagrama Grafcet

A figura 2.9 indica que: para que o passo 3 seja ativado, é necessário que o passo 1 esteja ativado e a transição T1 seja disparada ou que o passo 2 esteja ativado e a transição T2 seja disparada.



**Figura 2.10** – junção OU no diagrama Grafcet

A figura 2.11 indica que: para que o passo 2 seja ativado, é necessário que o passo 1 esteja ativo e a transição T1 seja disparada. Para que o passo 3 seja ativado, é necessário que o passo 1 esteja ativo e a transição T2 seja disparada. Neste caso, a evolução do sistema a partir do passo 1, será para o passo 2 ou para o passo 3, conforme a ocorrência do disparo das transições T1 ou T2.



**Figura 2.11** – Distribuição ou no diagrama Grafcet

Cabe ressaltar que os diagramas Ladder, trajeto-passo e Grafcet são do tipo comportamental. Através de qualquer um deles é possível observar a seqüência (*quando*) em que ocorrem o avanço e o recuo dos cilindros.

## 2.5 A Representação Funcional de Sistemas Multitecnológicos

Para a representação funcional de sistemas multitecnológicos, apresentam-se neste trabalho a Rede Petri Canal/Agência (C/A), que é um modelo derivado da Rede Petri (PETERSON, 1981 e REISIG, 1985).

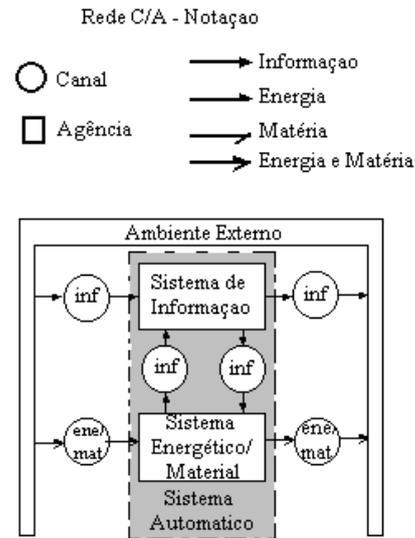
Conforme HEUSER (1990) e DE NEGRI (1996), a representação da Rede de Petri C/A emprega dois elementos básicos: *as unidades funcionais ativas*, representadas por retângulos e as *unidades funcionais passivas*, representadas através de círculos, sendo estes dois elementos interligados através de arcos direcionados (setas).

“Sob uma *perspectiva funcional*, que é o enfoque dado por HEUSER (1990), as unidades funcionais passivas correspondem aos *recursos* que fluem através do sistema, ou seja a energia, a matéria e a informação ou suas formas de manifestação, tais como eletricidade, peças, ferramentas, sinais, dados etc. Por sua vez, as unidades funcionais ativas são designadas de *atividades* correspondendo às operações aplicadas sobre os recursos como bombeamento, montagem, transporte, processamento etc” (DE NEGRI, 1996).

As setas indicam o sentido do fluxo de recursos, ou seja, definem as causas e efeitos relacionados a cada atividade (a casualidade das variáveis do sistema). Na representação adotada foram definidos três tipos de setas para enfatizar o tipo de recurso envolvido:

- Seta cheia: fluxo de informação;
- Meia seta cheia: fluxo de energia;
- Meia seta vazia: fluxo de matéria (DE NEGRI, 1996).

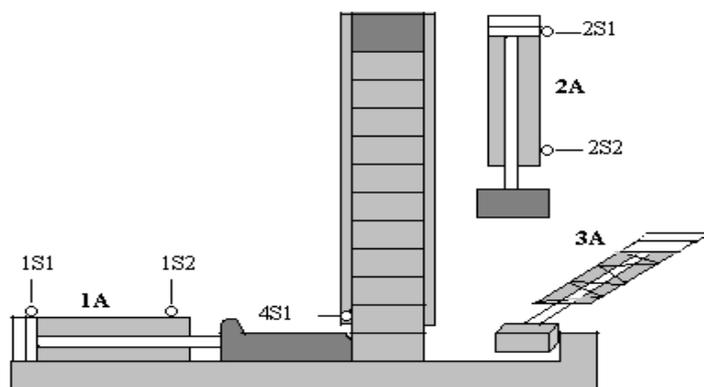
Utilizando os elementos acima descritos, apresenta-se na figura 3.13 a representação funcional geral de um sistema automático baseado em DE NEGRI (1996).



**Figura 2.12** – Modelo funcional de sistema automático (DE NEGRI, 1996).

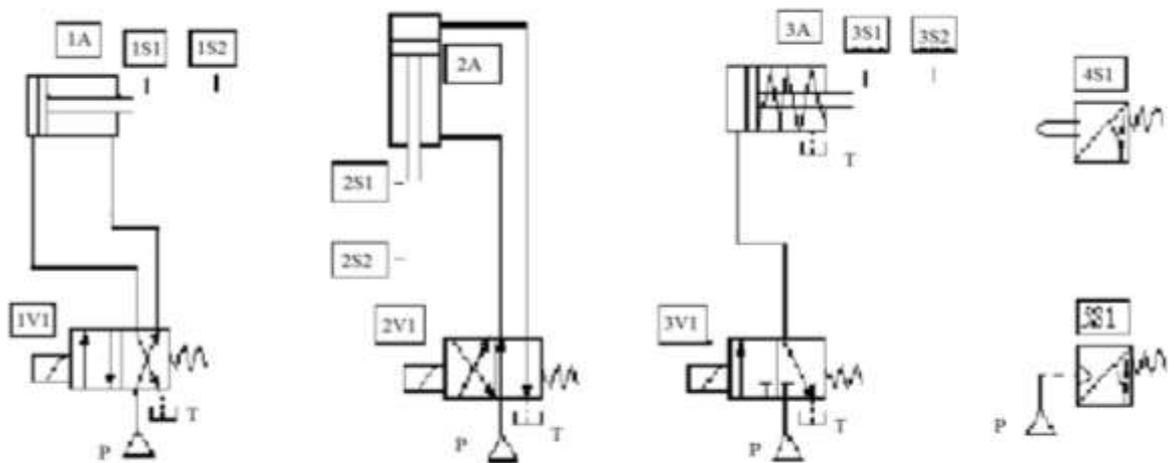
Esta representação da figura 2.12 ressalta a característica (já comentada no capítulo 2) do sistema automático de interagir com o meio externo em termos de informação, energia e matéria. Internamente ao sistema, é possível caracterizar ainda uma parte de informação, destacada da parte energético/material, sobre a qual pesam usualmente as funções de coordenação lógica das ações executadas sobre o processo físico ou químico (energia/matéria).

## 2.6 Projeto de Sistema Hidráulico e Pneumático na instalação de marcação de peças



**Figura 2.13** – Esquema de instalação para o sistema de marcação de peças (BOLLMANN, 1998)

A representação esquemática mostra componentes como o magazine de peças a serem marcadas, o cilindro pneumático (1A) que conduz e fixa a peça, o cilindro pneumático (2A) que move verticalmente o molde de impressão, o cilindro (3A) que expulsa a peça e o sensor (4S1) que indica a presença de peça no magazine. Considera-se, ainda, que cada um dos cilindros está interligado a uma válvula acionada por solenóide e com retorno por mola. Isto pode ser representado no diagrama da figura 2.14, utilizando uma simbologia normatizada (ISO série 1219). Considera-se ainda que o processamento de informação será feito com o uso de um CLP.



**Figura 2.14** - Circuitos pneumáticos para o sistema de marcação de peças.

O comportamento desejado do sistema pode ser descrito, partindo da situação onde não existe ainda nenhuma peça na máquina, através das seguintes *especificações* básicas:

- Após satisfeito um conjunto de condições iniciais (inclusive a existência de peças no magazine), o cilindro 1A deve avançar para conduzir e fixar a peça;
- O cilindro 2A deve avançar para executar a marcação da chapa;
- O cilindro 2A deve recuar da posição avançada;
- O cilindro 1A deve recuar da posição avançada, soltando a peça;
- O cilindro 3A deve avançar para expulsar a peça;
- O cilindro 3A deve recuar e o sistema retorna à situação original.

Além da seqüência de comandos, as seguintes *especificações adicionais* são estabelecidas:

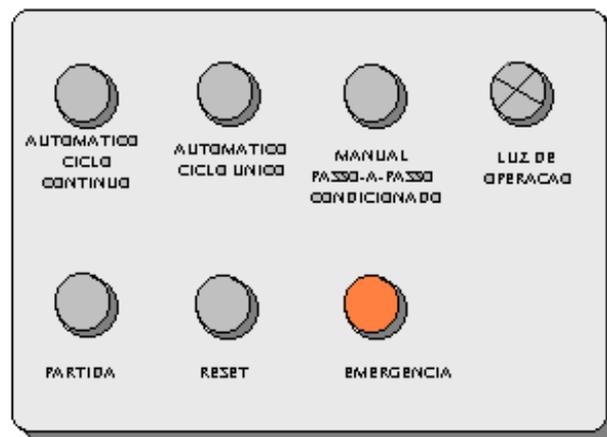
- O sistema deve conter as opções de ciclo:

- automático ciclo contínuo (ACC);
- automático ciclo único (ACU);
- manual passo-a-passo condicionado (PPC);

Obs: Um sinal de partida (aperto do botão de iniciar pelo operador) deve ocorrer antes do início de cada ciclo, exceto se o sistema estiver operando em ciclo contínuo.

- h) Para que se inicie o processo, as seguintes condições iniciais devem ser satisfeitas:
- ser selecionado um tipo de ciclo;
  - deve haver uma peça no magazine (**buffer**);
  - todos os cilindros devem estar recuados;
  - deve haver um sinal externo indicativo que a rede está pressurizada;
- i) Deve haver um botão de reset, que ao ser pressionado retorna o sistema à situação original (com os três cilindros recuados);
- j) Deve haver um botão de emergência (autotravante) que recua os cilindros e bloqueia o reinício do sistema. O desbloqueio do botão de emergência deve reinicializar o sistema (retornar o sistema à situação original);
- k) Uma luz deve ficar acesa enquanto o processo estiver ocorrendo e a luz deve se apagar quando a peça estiver livre.

Para o atendimento das especificações adicionais, supõe-se que a interação com o operador deva ocorrer através de botões e luzes indicativas, conforme ilustrado na figura 3.16.



**Figura 2.15** – Esquema do painel de operação para o sistema de marcação de peças

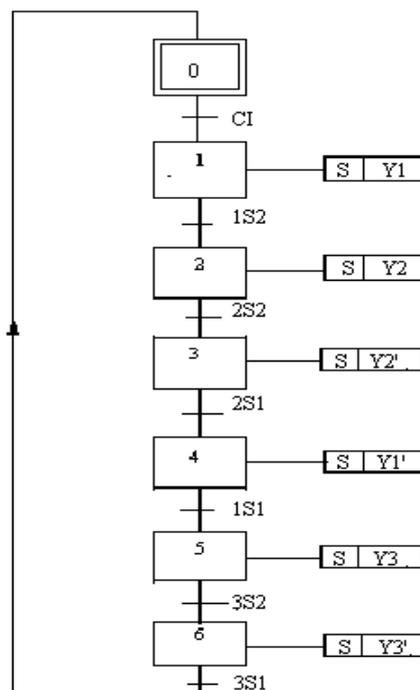


**Tabela 2.5** – Notação geral para o sistema de marcação de peças.

NOTAÇÃO	DESCRIÇÃO
1A	Cilindro pneumático de ação dupla. O cilindro 1A fixa a peça a ser impressa
2A	Cilindro pneumático de ação dupla. O cilindro 2A executa a impressão
3A	Cilindro Pneumático de ação simples e retorno por mola. O cilindro 3A expulsa a peça impressa
1V1	Válvula pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 1V1 está ligada ao cilindro 1 <sup>a</sup> e determina o seu avanço ou retorno
2V1	Válvula pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 2V1 está ligada ao cilindro 2 <sup>a</sup> e determina o seu avanço ou retorno.
3V1	Válvula pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 3V1 está ligada ao cilindro 3 <sup>a</sup> e determina o seu avanço ou retorno.
1S1	1S1 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 1A (de mesma designação) está energizado (1S1=1), o que significa que o cilindro 1A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 1S1=0 (o que significa que o cilindro 1A não está totalmente recuado).
1S2	1S2 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 1A (de mesma designação) está energizado (1S2=1), o que significa que o cilindro 1A está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 1S2=0 (o que significa que o cilindro 1A não está totalmente avançado).
2S1	2S1 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 2A (de mesma designação) está energizado (2S2=1), o que significa que o cilindro 2A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 2S1=0 (o que significa que o cilindro 2A não está totalmente recuado).
2S2	2S2 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 2A (de mesma designação) está energizado (2S2=1), o que significa que o cilindro 2A está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 2S2=0 (o que significa que o cilindro 2A não está totalmente avançado).
3S1	3S1 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 3A (de mesma designação) está energizado (3S1=1), o que significa que o cilindro 3A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 3S1=0 (o que significa que o cilindro 3A não está totalmente recuado).
3S2	3S2 é a variável booleana que indica o sensor de fim de curso do cilindro 3A (de mesma designação) está energizado (3S2=1), o que significa que o cilindro 3A está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 3S2=0 (o que significa que o cilindro 3A não está totalmente avançado).
Y1,Y1'	Y1 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 1V1. Quando o solenóide está energizado (Y1=1), a válvula 1V1 determina o avanço do cilindro 1A. Quando o solenóide está desenergizado tem-se Y1=0 (o que significa que o recuo do cilindro 1A). A variável booleana Y1' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y1 (assim, quando Y1=1 tem-se Y1'=0 e vice-versa).
Y2,Y2'	Y2 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 2V1. Quando o solenóide está energizado (Y2=1), a válvula 2V1 determina o avanço do cilindro 2A. Quando o solenóide está desenergizado tem-se Y2=0 (o que significa que o recuo do cilindro 2A). A variável booleana Y2' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y2 (assim, quando Y2=1 tem-se Y2'=0 e vice-versa).
Y3,Y3'	Y3 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 3V1. Quando o solenóide está energizado (Y3=1), a válvula 3V1 determina o avanço do cilindro 3A. Quando o solenóide está desenergizado tem-se Y3=0 (o que significa que o recuo do cilindro 3A). A variável booleana Y3' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y3 (assim, quando Y3=1 tem-se Y3'=0 e vice-versa).
4S1	4S1 é a variável booleana associada ao sinal do sensor de existência de peça no magazine (de mesma designação). Quando o sensor está energizado tem-se 4S1=1 (o que significa a existência de peça no magazine). Quando o sensor está desenergizado tem-se 4S1=0 (o que significa inexistência de peça no magazine).
ACC	ACC é a variável booleana que indica que o botão de seleção de modo automático ciclo contínuo foi pressionado pelo operador (ACC=1). Quando o botão está pressionado tem-se ACC=1 (o que significa que está selecionado o modo automático ciclo contínuo). Quando o botão não está pressionado tem-se ACC=0 (o que

	significa que não está selecionado o modo automático ciclo contínuo).
ACU	ACU é a variável booleana que indica que o botão de seleção de modo automático ciclo único foi pressionado pelo operador (ACU=1).
PPC	PPC é a variável booleana que indica que o botão de seleção de modo manual passo-a-passo condicionado foi pressionado pelo operador (PPC=1).
PART	PART é a variável booleana que indica que o botão de partida do ciclo foi pressionado pelo operador (PART=1).
RES	RES é a variável booleana que indica que o botão de reinicialização do sistema ( <b>reset</b> ) foi pressionado pelo operador (RES=1).
EMG, EMG'	EMG é a variável booleana que indica que o botão de emergência foi pressionado pelo operador (EMG=1). Quando o botão está pressionado tem-se EMG=1 (o que significa que o sistema está na situação emergência, ou seja, são provocadas as ações de emergência e bloqueado o sistema). Quando o botão não está pressionado tem-se EMG=0 (o que significa que o sistema não está na situação emergência, ou seja, o sistema está desbloqueado). A variável booleana EMG' é o <i>complemento</i> da variável booleana EMG (assim, quando EMG=1 tem-se EMG'=0 e vice-versa).
CI	CI é a variável booleana associada ao resultado da composição dos sinais que condicionam o início do ciclo. Quando CI=1 significa as condições iniciais estão satisfeitas. Quando CI=0 significa as condições iniciais não estão satisfeitas.
AL, AL'	AL é a variável booleana associada ao sinal de acendimento da lâmpada indicativa de operação do sistema. Quando AL=1 significa que a lâmpada está acesa. Quando AL=0, significa que a lâmpada não está acesa. A variável booleana AL' é o <i>complemento</i> da variável booleana AL (assim, quando AL=1 tem-se AL'=0 e vice-versa).

Para modelar o comportamento do CLP, um diagrama Grafcet pode ser diretamente construído da sequência de comandos descrita acima (itens a até f). Isto pode ser observado na figura 2.17 com a notação conforme a Tabela 2.2 (também válida para as figuras subsequentes).



**Figura 2.17** – Modelagem do CLP para o sistema de marcação de peças

A regra básicas de construção do diagrama Grafcet estão apresentadas neste capítulo , deixando-se ao leitor a interpretação do diagrama da figura 2.18. Faz-se, entretanto uma ressalva sobre a forma adotada, pois ela pode ser simplificada eliminando a memorização de alguns comandos. O comando associado ao passo 2 (indicado por Y2), por exemplo, não necessita estar memorizado tendo em vista a não necessidade de sua permanência após o passo 2; além disso, eliminando a memorização de Y2 (no passo 2), torna-se desnecessária a inclusão de Y2' no passo 3, pois estaria implícito que, após a desativação do passo 2, desapareceria também o comando Y2 (conforme regras básicas de construção do diagrama Grafcet apresentadas no capítulo 3). Situação semelhante ocorre no passo 5 em relação a Y3. Indica-se que a forma apresentada neste exemplo e nos subsequentes deste trabalho (com a inclusão explícita de todos os comandos), embora redundante, foi adotada com fins didáticos para facilitar a identificação. Observe-se, por exemplo, que é possível identificar rapidamente a ocorrência do evento Y2' no passo 3, o que não ocorreria se Y2' estivesse implícito após o passo 2. Para via de regra, este procedimento não deve ser adotado, pois coloca informações desnecessárias no diagrama, diminuindo a concisão desejável na transmissão de informações; além disso a forma concisa pode significar uma economia em termos de número de instruções e de memória do CLP, produzindo resultados de efeito equivalente.

## 3 Estudo de Caso: Proposta de um Sistema de Automação Aplicada a uma Furadeira.

### 3.1 Introdução

Ainda que não formalmente definida, é usual no projeto de sistemas hidráulicos e pneumáticos a divisão das especificações de requisitos em dois grupos: básicos e adicionais (BOLLMAN, 1998 e HASEBRINK & KLOBER, 1988).

As *especificações básicas* incluem a sequência de comandos, fundamental à realização de uma tarefa. As *especificações adicionais* (ou marginais) envolvem normalmente um conjunto de restrições que devem ser satisfeitas para evitar interferência entre ações do sistema, conduzir o sistema a trabalhar de maneira mais satisfatória ou ainda, melhorar aspectos de segurança e operacionais.

Como exemplos de especificações adicionais usuais no projeto de sistemas hidráulicos e pneumáticos, tem-se:

- I. Condições iniciais;
- II. Seleção do tipo de ciclo:
  - automático com ciclo contínuo
  - automático com ciclo único
  - manual passo-a-passo condicionado
  - manual passo-a-passo incondicionado
- III. Condições de **reset**;
- IV. Condições e ações de emergência e desbloqueio de emergência;
- V. Monitoração;
- VI. Especificações de segurança, relativas à interferência entre ações do processo e situações proibitivas (inclusive de bloqueio do processo), ou de hierarquia, relativas às prioridades entre ações do processo.

Cada uma das especificações adicionais acima será comentada a seguir. Nas seções seguinte é analisada a forma de implementação destas especificações utilizando o diagrama Grafcet e a teoria de sistemas a eventos discretos, quando necessário.

Por *condições iniciais* (item I), entende-se o conjunto de exigências que devem ser satisfeitas para o início de um ciclo do processo. Exemplos de exigências são: quanto à pressão mínima de trabalho, quanto à existência de peças a serem processados em um depósito (magazine), requisitos de segurança para o início do ciclo etc. Para o início do primeiro ciclo de trabalho exige-se normalmente, que seja pressionado um botão de partida.

Uma outra especificação adicional comum é a *seleção do tipo de ciclo de trabalho* que se deseja para o processo (item II). Pode-se usualmente optar pelo modo manual ou pelo modo automático.

No modo automático todas as tarefas de um ciclo são realizadas (em condições normais) de forma automática. Duas modalidades de modo automático usualmente se apresentam: *ciclo único* (ACU) e *ciclo contínuo* (ACC). No ciclo contínuo o sistema, após encerrado um ciclo (por exemplo, de fabricação de uma peça), reinicia um ciclo novo de forma automática, salva guardadas algumas exigências como existência de peça. No ciclo único o sistema só realiza um ciclo. Neste caso, um novo ciclo é iniciado somente quando houver instrução para tal (por exemplo, o aperto do botão de partida pelo operador).

No modo manual, após cada passo do processo (ao qual pode ser usualmente associado um passo no diagrama Grafcet), exige-se um sinal de prosseguimento externo para que haja transição para o passo seguinte (por exemplo, o aperto de um botão pelo operador). Duas modalidades em modo manual se apresentam usualmente: *passo-a-passo condicionado* (PPC) e *passo-a-passo incondicionado* (PPI). Em passo-a-passo condicionado a transição de um passo a outro do processo ocorre se, além das condições normais de transição de um passo a outro, existir um sinal externo de prosseguimento. Em passo-a-passo incondicionado, para a transição de um passo a outro, basta um sinal externo de prosseguimento.

A *condição de reset* (item III) tem significados não uniformes na literatura. Para o âmbito deste trabalho, considera-se que ao ser acionado um botão de **reset** operador do sistema em qualquer situação, as atividades são paradas e o sistema volta à situação de início do ciclo, tanto no que se refere às memórias do CLP como em relação à situação física dos componentes.

A *condição de emergência* (item IV) também tem significado não uniforme na literatura. Para o âmbito deste trabalho considera-se que ao ser acionado um botão autotravante pelo operador em qualquer situação, o sistema pára e ainda efetua grupo de ações de segurança, que pode incluir o soar de um alarme ou o retorno de um ou mais cilindros, por exemplo. Considera-se ainda que o desbloqueio da emergência provoque o retorno do sistema ao seu estado inicial (reset).

Entende-se como *monitoração* (item V) qualquer indicação da situação do sistema ao operador. Neste sentido, a monitoração não altera a seqüência básica da evolução do sistema, mas apenas acrescenta sinais indicativos do estado em que este se encontra. Pode incluir o acendimento de luzes ou emissão de sinais, por exemplo.

### 3.2 Sistema de Automação para Furação de Peças

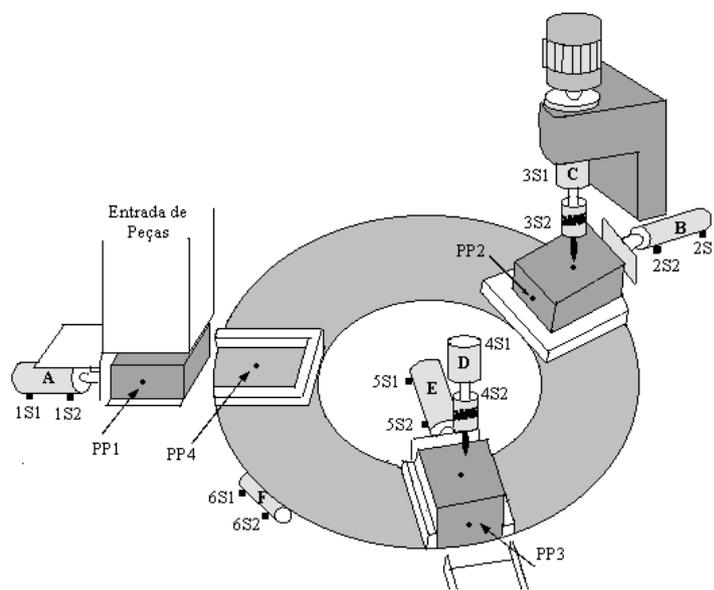
Descrevemos o comportamento do sistema partindo da situação onde, as opções são realizadas após o comando de ordem de partida dado pelo operador (chave P) através das seguintes *opções básicas*:

- a) Após satisfeito um conjunto de condições iniciais inclusive a existência de peças no sistema de furação, o cilindro A deve avançar para transportar a peça para a mesa.
- b) O cilindro A deve recuar da posição avançada.
- c) A mesa gira 120° (atuador F).
- d) O cilindro B deve avançar para fixar a peça e o cilindro C deve avançar para furar a peça. O cilindro C deve recuar da posição avançada, o cilindro B deve recuar da posição avançada.
- e) A mesa gira 120° (atuador F).
- f) O cilindro D deve avançar para testar a peça em um tempo não superior de 5 segundos, o cilindro D deve recuar da posição avançada.
- g) O cilindro E deve avançar para retirar a peça.
- h) O sistema desliga caso a peça esteja defeituosa.
- i) 1S1 ... 5S1, chaves de fim de curso que indicam posição recuada dos atuadores.
- j) 1S2 ... 5S2, chaves de fim de curso de máxima execução nos atuadores.
- k) PP1, sensor de presença de peça na entrada da mesa.
- l) PP4, sensor de presença de peça na **pallet** da mesa.
- m) PP2, sensor de presença de peça na estação de furação.
- n) PP3, sensor de presença de peça na estação de inspeção.

A mesa circular é sucessivamente rotacionada pelo atuador F, o que irá garantir o correto posicionamento da mesa após cada rotação.

O motor da furadeira é acionado por um sistema mecânico que irá ligá-lo quando a furadeira descer, e desligá-lo quando ela subir.

A verificação do furo é realizada pela descida do acionador D que deverá atingir o fim-curso 3S2 em um tempo não superior a cinco segundos, o que indicará que a furação foi realizada corretamente. Caso essa condição não ocorra, a máquina deverá parar afim de que o operador retire a peça defeituosa e, manualmente, dê o comando de rearme (botoeira R).



**Figura 3.1** – Máquina de furação de Peças

Na figura 3.1 é representado um sistema de manipulação de peças o qual realiza seqüencialmente à remoção de peças bruta de um depósito inicial, a furação, o teste da peça e a armazenagem em um depósito final.

Uma mesa circular é utilizada para alimentar três estações de trabalho que realizam as seguintes operações:

*Estação 1:* Carrega a peça na mesa circular.

*Estação 2:* Prende a peça e efetua a furação.

*Estação 3:* Inspetiona o furo por meio de um sensor de profundidade e elimina a peça.

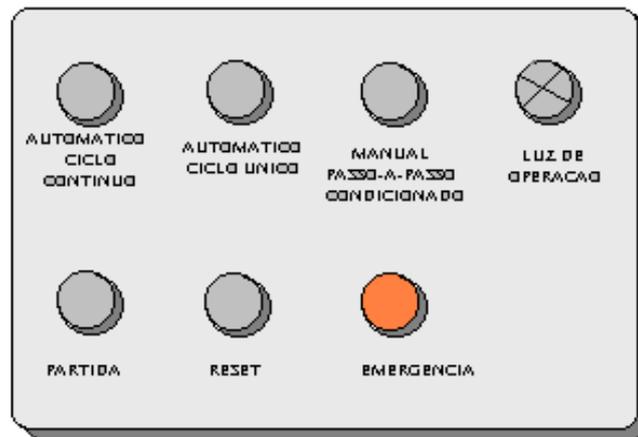
Os sensores e atuadores utilizados no sistema são os seguintes:

- a) A, B, C, D, E: Atuadores (cilíndricos) pneumáticos de dupla ação;
- b) 1V1, 2V1, ... 6V1: Eletroválvulas que irão comandar o avanço e o recuo dos cilindros A, B, C, D, E e F;
- c) F: Atuador F de simples ação.
- d) O cilindro E deve avançar para tirar a peça;
- e) O cilindro E deve recuar da posição avançada;
- f) A mesa gira 120°
- g) R, caso a peça esteja defeituosa.
- h) O sistema deve conter as opções de ciclo:
  - automático ciclo contínuo (ACC);
  - automático ciclo único (ACU);
  - manual passo-a-passo condicionado (PPC);

Obs: Um sinal de partida (aperto do botão de iniciar pelo operador) deve ocorrer antes do início de cada ciclo, exceto se o sistema estiver operando em ciclo contínuo.

- i) Para que se inicie o processo, as seguintes condições iniciais devem ser satisfeitas:
  - ser selecionado um tipo de ciclo;
  - deve haver uma peça no magazine (**pallet**);
  - todos os cilindros devem estar recuados;
- j) Deve haver um botão de reset, que ao ser pressionado retorna o sistema à situação original (com os três cilindros recuados);
- k) Deve haver um botão de emergência (autotravante) que recua os cilindros e bloqueia o reinício do sistema. O desbloqueio do botão de emergência deve reinicializar o sistema (retornar o sistema à situação original);
- l) Uma luz deve ficar acesa enquanto o processo estiver ocorrendo e a luz deve se apagar quando a peça estiver livre.

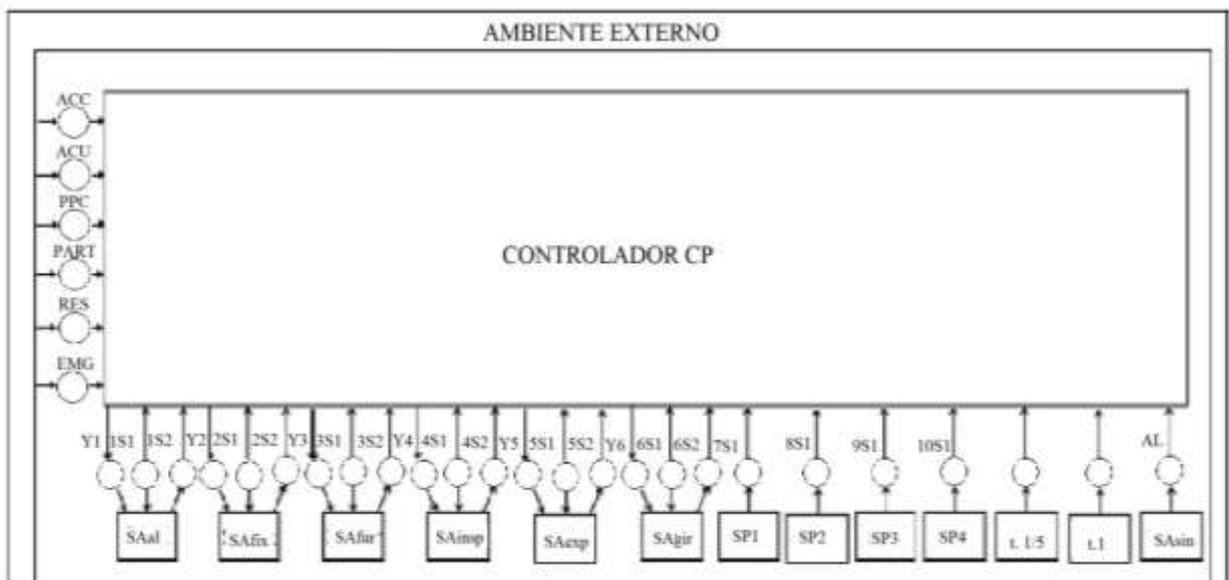
Para o atendimento das especificações adicionais, supõe-se que a interação com o operador deva ocorrer através de botões e luzes indicativas, conforme ilustrado na figura 3.2.



**Figura 3.2** – Esquema do painel de operação para o sistema de furação de peças (reapresentação)

Cada botão produz um sinal elétrico que é enviado ao CLP. Os botões “automático ciclo contínuo” e “emergência” são autotravantes, ou seja, o sinal permanece até que o botão seja novamente pressionado.

Para representar a parte de informação do sistema, pode-se utilizar a Rede Petri C/A como mostrado na figura 3.3, com a notação das Tabelas 3.1 e 3.2.



**Figura 3.3** – Representação funcional para o sistema de furação de peças.

**Tabela 3.1** – Notação da representação funcional para o sistema de furação de peças

<b>SIMBOLO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>PRINCIPAIS ELEMENTOS DO SISTEMA</b>
SP1	Sistema de presença de peça na entrada	Sensor PP1
SAal	Sistema de atuação de alimentação de peça	Cilindro A
SP4	Sensor de presença de peça na pallet	Sensor PP4
SAgir	Sistema de giro de 120°	Atuador F
SP2	Sensor de presença de peça na furação	Sensor PP2
SAfix	Sistema de atuação de fixação de peça	Cilindro B
SAfur	Sistema de atuação de furação de peça	Cilindro C
SP3	Sistema de presença de peça na inspeção	Sensor PP3
SAimp	Sistema de atuação de inspeção do furo	Cilindro D
SAexp	Sistema de atuação de expulsão de peça	Cilindro E
SAsin	Sistema de sinalização	Lâmpadas indicativas de operação do sistema

**Tabela 3.2** – Notação geral para o sistema de furação de peças

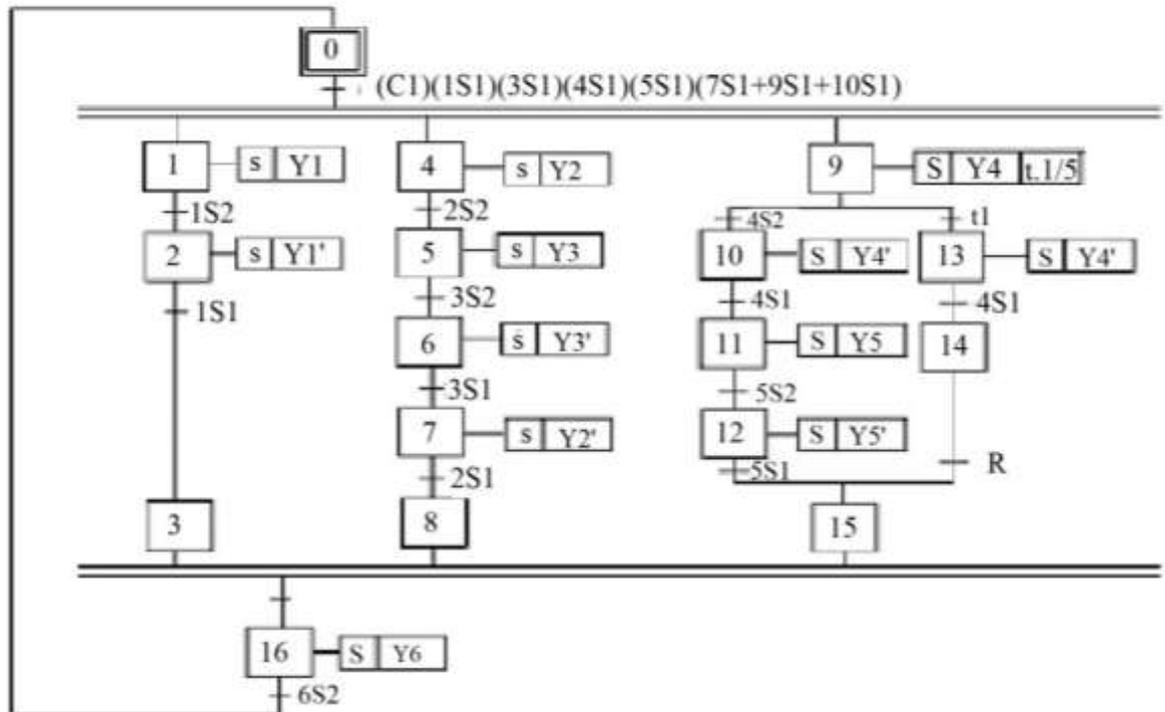
<b>NOTAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
A	Cilindro Pneumático de ação dupla. O Cilindro A carrega a peça na mesa circular.
B	Cilindro Pneumático de ação dupla. O cilindro B fixa a peça a ser furada.
C	Cilindro Pneumático de ação dupla. O cilindro C executa a furação da peça.
D	Cilindro Pneumático de ação dupla. O cilindro D conduz a inspeção do furo.
E	Cilindro Pneumático de ação dupla. O cilindro E expulsa a peça da mesa.
F	Cilindro Pneumático de ação simples. O cilindro F gira a mesa em 120°.
1V1	Válvula Pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 1V1 está ligada ao cilindro A e determina seu avanço ou retorno.
2V1	Válvula Pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 2V1 está ligada ao cilindro B e determina seu avanço ou retorno.
3V1	Válvula Pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 3V1 está ligada ao cilindro C e determina seu avanço ou retorno.
4V1	Válvula Pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 4V1 está ligada ao cilindro D e determina seu avanço ou retorno.
5V1	Válvula Pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 5V1 está ligada ao cilindro E e determina seu avanço ou retorno.
6V1	Válvula Pneumática acionada por solenóide e com retorno por mola. A válvula 6V1 está ligada ao cilindro F e determina seu avanço.
1S1	ISI é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro A está energizado, tem-se (1S1=1), o que significa que o cilindro A está totalmente recuado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 1S1=0 (o que significa, que o cilindro A não está

	totalmente recuado).
1S2	<p>1S2 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro A está energizado, tem-se (1S2=1), o que significa que o cilindro A está totalmente avançado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 1S2=0 (o que significa, que o cilindro A não está totalmente avançado).</p>
2S1	<p>2S1 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro B está energizado, tem-se (2S1=1), o que significa que o cilindro B está totalmente recuado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 2S1=0 (o que significa, que o cilindro B não está totalmente recuado).</p>
2S2	<p>2S2 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro B está energizado, tem-se (2S2=1), o que significa que o cilindro B está totalmente avançado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 2S2=0 (o que significa, que o cilindro B não está totalmente avançado).</p>
3S1	<p>3S1 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro C está energizado, tem-se (3S1=1), o que significa que o cilindro C está totalmente recuado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 3S1=0 (o que significa, que o cilindro C não está totalmente recuado).</p>
3S2	<p>3S2 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro C está energizado, tem-se (3S2=1), o que significa que o cilindro C está totalmente avançado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 3S2=0 (o que significa, que o cilindro C não está totalmente avançado).</p>
4S1	<p>4S1 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro D está energizado, tem-se (4S1=1), o que significa que o cilindro D está totalmente recuado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 4S1=0 (o que significa, que o cilindro D não está totalmente recuado).</p>
4S2	<p>4S2 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro D está energizado, tem-se (4S2=1), o que significa que o cilindro D está totalmente avançado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 4S2=0 (o que significa, que o cilindro D não está totalmente avançado).</p>
5S1	<p>5S1 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro E está energizado, tem-se (5S1=1), o que significa que o cilindro E está totalmente recuado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 5S1=0 (o que significa, que o cilindro E não está totalmente recuado).</p>
5S2	<p>5S2 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro E está energizado, tem-se (5S2=1), o que significa que o cilindro E está totalmente avançado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 5S2=0 (o que significa, que o cilindro E não está totalmente avançado).</p>
6S1	<p>6S1 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro F está energizado, tem-se (6S1=1), o que significa que o cilindro F está totalmente recuado.</p> <p>Quando o sensor está desenergizado tem-se 6S1=0 (o que significa, que o cilindro F não está</p>

	totalmente recuado).
6S2	6S2 é a variável booleana que indica que o sensor de fim de curso do cilindro F está energizado, tem-se (6S2=1), o que significa que o cilindro F está totalmente avançado. Quando o sensor está desenergizado tem-se 6S2=0 (o que significa, que o cilindro F não está totalmente avançado).
Y1, Y1'	Y1 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 1V1. Quando o solenóide está energizado (Y1=1), a válvula 1V1 determina o avanço do cilindro A. Quando o solenóide está desenergizada tem-se Y1=0 (o que significa o recuo do cilindro A). A variável booleana Y1' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y1 (assim, quando Y1=1 tem-se Y1'=0 e vice-versa).
Y2, Y2'	Y2 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 2V1. Quando o solenóide está energizado (Y2=1), a válvula 2V1 determina o avanço do cilindro B. Quando o solenóide está desenergizada tem-se Y2=0 (o que significa o recuo do cilindro B). A variável booleana Y2' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y2 (assim, quando Y2=1 tem-se Y2'=0 e vice-versa).
Y3, Y3'	Y3 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 3V1. Quando o solenóide está energizado (Y3=1), a válvula 3V1 determina o avanço do cilindro C. Quando o solenóide está desenergizada tem-se Y3=0 (o que significa o recuo do cilindro C). A variável booleana Y3' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y3 (assim, quando Y3=1 tem-se Y3'=0 e vice-versa).
Y4, Y4'	Y4 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 4V1. Quando o solenóide está energizado (Y4=1), a válvula 4V1 determina o avanço do cilindro D. Quando o solenóide está desenergizada tem-se Y4=0 (o que significa o recuo do cilindro D). A variável booleana Y4' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y4 (assim, quando Y4=1 tem-se Y4'=0 e vice-versa).
Y5, Y5'	Y5 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 5V1. Quando o solenóide está energizado (Y5=1), a válvula 5V1 determina o avanço do cilindro E. Quando o solenóide está desenergizada tem-se Y5=0 (o que significa o recuo do cilindro E). A variável booleana Y5' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y5 (assim, quando Y5=1 tem-se Y5'=0 e vice-versa).
Y6, Y6'	Y6 é a variável booleana associada ao sinal que energiza o solenóide de acionamento da válvula 6V1. Quando o solenóide está energizado (Y6=1), a válvula 6V1 determina o avanço do cilindro F. Quando o solenóide está desenergizada tem-se Y6=0 (o que significa o recuo do cilindro F). A variável booleana Y6' é o <i>complemento</i> da variável booleana Y6 (assim, quando Y6=1 tem-se Y6'=0 e vice-versa).
7S1	É a variável booleana associada ao sinal sensor PP1 de existência de peça na entrada. Quando o sensor está energizado tem-se 7S1=1 o que significa a existência de peça na entrada.
8S1	É a variável booleana associada ao sinal sensor PP4 de existência de peça na pallet. Quando o sensor está energizado tem-se 8S1=1 o que significa a existência de peça na pallet.
9S1	É a variável booleana associada ao sinal sensor PP2 de existência de peça na furação. Quando

	o sensor está energizado tem-se 9S1=1 o que significa a existência de peça na furação.
10S1	É a variável booleana associada ao sinal sensor PP3 de existência de peça na inspeção . Quando o sensor está energizado tem-se 10S1=1 o que significa a existência de peça na inspeção.
ACC	ACC é a variável booleana que indica que o botão de seleção de modo automático ciclo contínuo foi pressionado pelo operador (ACC=1). Quando o botão está pressionado tem-se ACC=1 (o que significa que está selecionado o modo automático ciclo contínuo). Quando o botão não está pressionado tem-se ACC=0 (o que significa que não está selecionado o modo automático ciclo contínuo).
ACU	ACU é a variável booleana que indica que o botão de seleção de modo automático ciclo único foi pressionado pelo operador (ACU=1).
PPC	PPC é a variável booleana que indica que o botão de seleção de modo manual passo-a-passo condicionado foi pressionado pelo operador (PPC=1).
PART	PART é a variável booleana que indica que o botão de partida do ciclo foi pressionado pelo operador (PART=1).
RES	RES é a variável booleana que indica que o botão de reinicialização do sistema ( <b>reset</b> ) foi pressionado pelo operador (RES=1).
EMG, EMG'	EMG é a variável booleana que indica que o botão de emergência foi pressionado pelo operador (EMG=1). Quando o botão está pressionado tem-se EMG=1 (o que significa que o sistema está na situação emergência, ou seja, são provocadas as ações de emergência e bloqueado o sistema). Quando o botão não está pressionado tem-se EMG=0 (o que significa que o sistema não está na situação emergência, ou seja, o sistema está desbloqueado). A variável booleana EMG' é o <i>complemento</i> da variável booleana EMG (assim, quando EMG=1 tem-se EMG'=0 e vice-versa).
CI	CI é a variável booleana associada ao resultado da composição dos sinais que condicionam o início do ciclo. Quando CI=1 significa as condições iniciais estão satisfeitas. Quando CI=0 significa as condições iniciais não estão satisfeitas.
AL, AL'	AL é a variável booleana associada ao sinal de acendimento da lâmpada indicativa de operação do sistema. Quando AL=1 significa que a lâmpada está acesa. Quando AL=0, significa que a lâmpada não está acesa. A variável booleana AL' é o <i>complemento</i> da variável booleana AL (assim, quando AL=1 tem-se AL'=0 e vice-versa).

Para modelar o comportamento do CLP um diagrama Grafset pode ser diretamente construído da sequência de comandos acima. Isto pode ser observado na figura 3.4 com a notação conforme a Tabela 3.2.



**Figura 3.4** - Modelagem do CLP para o sistema de furação de peças.

Pelo Grafcet apresentado, percebe-se a natureza paralela das operações de carregar peças, furar peças e teste/retirada da peça acabada, sendo que a finalização do paralelismo somente será possível quando as três seqüências estiverem individualmente finalizadas, na prática representada pelas etapas 3, 8 e 15 cuja a ação é de espera/sincronização.

Outra característica observável, ainda no Grafcet da figura 3.4, é a de que ao encerrar o paralelismo não há uma receptividade física associada à mudança de situação. Sendo assim, é a condição sempre verdadeira (=1) aquela que satisfaz a condição imposta (este caso é bastante frequente após junção “E”).

## 4 Conclusões e Sugestões para Próximos Trabalhos

### 4.1 – Conclusão

O presente trabalho teve seu desenvolvimento voltado para a sistematização do projeto de sistema hidráulico e pneumático automático. Dentro desta diretiva, foi tratado o problema da modelagem funcional e comportamental do sistema discreto.

Em termos gerais os resultados obtidos podem ser caracterizados como orientações aos projetistas no que diz respeito a:

- Escolha de ferramentas de modelagem adequada às especificações estabelecidas;
- Novas possibilidades de uso de modelos já conhecidos.

Inicialmente foram caracterizados de maneira formal os sistemas tratados ao longo do trabalho e estabelecida uma conceituação geral de termos empregados (capítulo 2). O passo consequente constituiu da apresentação das ferramentas usuais de modelagem de sistema hidráulicos e pneumáticos e da área de automação (seção 3.1). A partir desse ponto foram analisadas os problemas de complexidade dos sistemas relacionados à integração multitecnológica e ao projeto de controladores lógicos.

Em função da crescente integração multitecnológica dos sistemas hidráulicos e pneumáticos automáticos, foi identificada a necessidade da utilização de uma ferramenta que, privilegiando a perspectiva funcional, não restrinja a tecnologia a ser empregada. Neste sentido, foi apresentada a Rede Petri C/A que, além de atender à necessidade citada torna disponível recursos úteis para atividade de projeto, como o refinamento e a condensação de funções (seção 3.2).

No que se refere ao projeto de controladores lógicos procedeu-se inicialmente a uma análise usando ferramentas de modelagem comportamental disponíveis. A análise considerou além da capacidade prescrita do modelo, ou seja, a capacidade de determinar precisamente o comportamento que deve possuir o controlador, um segundo aspecto relativo à clareza, à facilidade do entendimento e à simplicidade que o modelo deve possuir para a transmissão de informações entre usuários e projetistas e ainda para equipes de manutenção do equipamento.

Notadamente em função deste segundo aspecto foi possível destacar, entre os modelos considerados, a utilização do diagrama Grafcet.

A análise desenvolvida permitiu constatar a complementaridade dos modelos que privilegiam aspectos funcionais e comportamentais através de exemplos práticos em que a Rede Petri C/A e o diagrama grafcet são empregadas de forma conjunta numa segunda etapa do estudo referente ao projeto de controladores lógicos observou-se que, apesar das vantagens da ferramenta de representação (Grafcet), a concepção do modelo do controlador a partir de especificações do usuário é fortemente baseada na experiência do projetista.

A etapa seguinte consistiu da caracterização e de análise específica usual de projeto de sistema hidráulico e pneumático. Foi possível mostrar que com a utilização dos recursos do diagrama Grafcet, podem ser obtidas soluções para as especificações adicionais relativas a.

Finalizando o trabalho realizado, foram dados dois exemplos de aplicação (para área metalúrgica) tornando disponíveis todos os resultados obtidos nos capítulos anteriores. Os exemplos consiste de uma aplicação integrada da Rede Petri C/A e do Diagrama Grafcet para modelagem de um sistema automático de marcação de peças e furação de peças em um manipulador de peças.

#### **4.2 – Sugestões para próximos trabalhos**

A partir da exposição da seção 3.1 são sugeridos os desenvolvimentos dos trabalhos futuros:

- aperfeiçoamento do sistema de manipulação de peças utilizando a teoria do sistema de evento discreto, pois neste trabalho manipula-se uma peça de cada vez e com esta teoria manipula-se três peças ao mesmo tempo.

- aperfeiçoamento da teoria sistema de eventos discreto (baseado em autômatos) com a modelagem do controlador baseado no diagrama Grafcet.

- criação de material didático e ferramentas computacionais tanto para o ensino como para a utilização para projetista. Tal esforço exige a expansão de diversos encaminhamentos colocados neste trabalho de forma sintética, sendo sugerida dentro desta linha a alternativa:

- a. Criação de manuais de utilização da Rede de Petri C/A, no diagrama de Grafcet e de técnicas integradas de projeto.

## Referências Bibliográficas

- ATTIÉ, S.S., DE NEGRI, V. J., CURY, J.E. *Design methodology for power systems automation, in: 13th ISPE/IEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CAD/CAM ROBOTICS FOR FACTORIES OF THE FUTURE*. Proceedings ... Pereira, Colombia, 1997.
- BOLLMANN,A. *Fundamentos da Automação Industrial Pneumática*. Brasil , São Paulo: ABHP, 1998 NO PRETO)
- BOOCH,G. *Object oriented design: with applications*. Redwood City, USA: The Benjamin/Cummings,1991. ISBN 0-8053-0091-0.
- BRO GAN, W.L. *Modern Control Theory*. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1985. ISBN 0-134-590316-5.
- BUUR, J., ANDREASEN, M. M. *Design Models in Mechatronic Product Development*. Design Studies. V. 10(3),july,1989.
- CIESLAK, R., DESCLAUX, C., FAWAS, A., VARAIYA, P. *Supervisory Control Discrete Event processes With Partial Observation*. *IEEE Transaction on Automatic Control*, v.33(3), p.249-260,1988.
- DAVID, R., ALLA, H. *Du Grafcet aux Réseaux de Petri*. Paris: Editions Hermés, 1989. ISBN 2- 86601-195-3.
- DAVID, Grafcet: A Powerful Tool for Especification of logic Contolles. *IEEE Transaction on Control Systems Technology*.v.3(3), p.253-368,1995.
- DE NEGRI, V, J. *Estruturação da Modelagem de Sistema automático e sua Aplicação a um banco de testes para sistema hidráulicos*. Fofionópolis: CPGEM, 1996 (tese de doutorado).

- DE NEGRI, V. J., VIEIRA, A. D. A hidráulica e pneumática no contexto da mecatrônica. *Revista ABHP*, São Paulo n.3.p. 11-14, mar/abr, 1997.
- DE NEGRI, V. J., ATTÍE, S. S., TOLEDO, L. B. Controle de posição utilizando servoválvulas e Válvula proposionais eletro-hidráulicas. *Revista ABHP*, São Paulo, n. 106,p,15-18, set/ou, 1997 e 107, p. 15-18, nov/dez, 1997.
- DIB, V. C,. A automação industrial no Brasil: Perspectivas atuais. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO, São Paulo. *Anais ...* p, 155- 157, 1996.
- FERREIRA, J. A, X. tecnologia avançada como fator de competitividade na globalização de automação, In: VII CONGRESSO NACIONAL DE AUTOMAÇÃO, São Paulo. *Anais ...* p. 99-104, 1996.
- FRANKLIN, G. F., POWELL, J. D., EMANI-NAEINI, A. *Feedback control of dynamic systems*. 3 ed, USA ; Addison- Wesley ,1994. ISBN 0-201-11540-9.
- FREDERICK, D.K., CARLSON, A. B. *Linear systems in communication and control*. New York, USA : John Wuley & Sons, 1971. ISBN 0-471-27721-5.
- HAREL, D. Statecharts: A visual formalism for complex systems, *Science of computer Programming*, North-Holland, v.8, p.231-247, 1987.
- HASEBRINK, P., KLOBER, R. *Projetos de sistema pneumáticos*. São Paulo: Fests Didactic, 1988.
- HENSON, B. W., JUSTER , N. P., PENNINGTON, A. Towards an integrated representation of function, behavior and form. In: *Proceedings ....* UK: Looseleaf, p. 95-111, 1994.
- HEUSER, C. A. Modelagem conceitual de sistema . *Anais ...*, 1990.
- HUBKA, V., EDER, W.E. *Theory of technical de systems*. Germany: Springer- Verlag, 1988. ISBN 3-540-17451-6

KROGH, B H., NIINOMI,T. Modeling and analysis of switched-mode hybrid systems driven by threshold events. In: 32th ALLERTON CONFERENCE ON COMMUNICATION,CONTROL AND COMPUTING, 1994. *Proceedings ...*Illinois USA: University of Illinois .1994

KUMAR, R., GARG, V. K. *Modeling and control logic discrete event system*. USA; Kluwer Acadamy Publishers,1995. ISBN 0-7923-9538-7.

KUMARA,S., HAM,L.,AL-HAMANDO,M., GOODNOW,K. Causal reasoning and data abstraction in component design. In: CIRP'. *Proceedings ...* ,v.38,p.145-148,1989.

MEIXNER, H., KLOBER, R. *Especialização e projetos de sistema pneumaticos*. São Paulo : Festo Didactic, 1986.

OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1982. ISBN 85-7054-019-1.

PETERSON, J.L.Petri net theory and the modeling of systems. New Hall, 1981, ISBN.0-13-661983-5.

REISIG, W. *Petri net: an introduction*. Berlin: springer- Verlag,1985.

ROUSEEL, J. M., LESAGE, J. J. Validation and verification of Grafcet using state machine. In:

IMACS CESA' 96 Symposium on discrete events & manufacturing systems. *Proceedings...* Lille France, p. 765-770, 1996.

RUMBAUGH, J., BLAHA, M., PREMERLANI, W. et alii. *Object-oriented modeling and design*. New Jersey: Prentice Hall, 1991. ISBN 0-13-630054-5.

SANTOS, M. A., SBRUZZI, G. *Controlador lógico programável*. SENAI/SC/CTAI. Florianópolis, 1996. (Apostila)

STRINGER, J. *Hydraulic systems analysis*. London: The Macmillan Press, 1976.

VRIES, T. J. A., BREUNESE, A.P.J., BREEDVELD, P.C. MAX: A mechatronic model building environment. In: CACD'94, UK. Proceedings ...UK :Looseleaf, p.299-317.1994.

SILVEIRA, P. R. Automação e controle discreto. São Paulo: Érica, 1998

ZAYTON, J., NDJAB, C., ROUSSEL, J.M. On the supremal controllable Grafcet of a given Grafcet. In: IMACS Symposium on mathematical modeling. Proceedings ... Austria, p. 371-376, 1997b.