

✓

**Universidade de São Paulo**  
**Escola de Engenharia de São Carlos**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

Intertravamento de Máquinas-Ferramenta:  
Proposta de roteiro para projeto e  
implementação, e estudo de caso em  
ambiente de manufatura flexível.

Eng. Elídio de Carvalho Lobão  
Orientador Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

DEDALUS - Acervo - EESC



31100035719

Dissertação apresentada à Escola de  
Engenharia de São Carlos, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de MESTRE  
EM ENGENHARIA.

São Carlos, Março de 1995.



Class. <u>Tese - EESC</u>
Cutt. <u>3073</u>
Tombo <u>085/95</u>

Eng. Mecânica

15 0742198

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

L796i

Lobão, Elídio de Carvalho

Intertravamento de máquinas-ferramenta : proposta de roteiro para projeto e implementação, e estudo de caso em ambiente de manufatura flexível / Elídio de Carvalho Lobão. -- São Carlos, 1995.

188p.

*Dissertação*

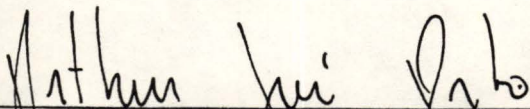
Fase (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-  
Universidade de São Paulo, 1995.

Orientador: Arthur José Vieira Porto

1. Intertravamento. 2. Controlador lógico programável. 3.  
Comando numérico computadorizado. 4. Sistema de manufatura  
flexível. I. Título.

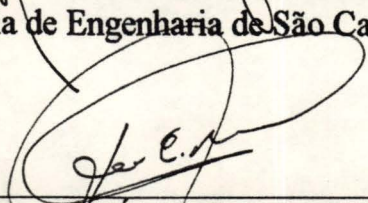
## FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 22/3/1995  
perante a Comissão Julgadora:



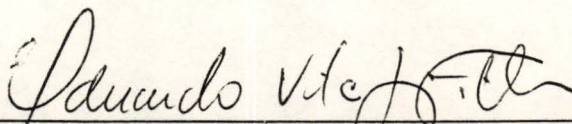
---

Prof. Dr. ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO - Orientador  
(Escola de Engenharia de São Carlos - USP)



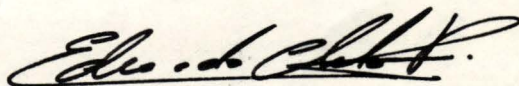
---

Prof. Dr. JOSÉ CARLOS MALDONADO  
(Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - USP)



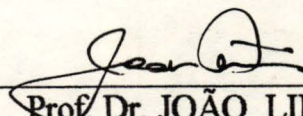
---

Prof. Dr. EDUARDO VILA GONÇALVES FILHO  
(Escola de Engenharia de São Carlos - USP)



---

Presidente da Comissão de Pós-Graduação  
Prof. Dr. EDUARDO CLETO PIRES



---

Prof. Dr. JOÃO LIRANI  
Coordenador da área - Engenharia Mecânica

"Quando nós consideramos a técnica como alguma coisa de neutra, mais é então que estamos, da pior forma, à sua mercê"

Heidegger - Essais et Conférences



## **Dedicatória**

Aos meus pais, José Lobão e  
Maria Aparecida

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur José Veira Porto, pelo incentivo, amizade e apoio.

Aos amigos Edilson, Jandira, Marcel, Mário Tronco, Mário Kobayashi, Orides, Oswaldo, Politano, Ricardo e Roberto pela valiosa ajuda no desenvolvimento do trabalho e principalmente, pela amizade compartilhada no período.

Aos professores Jaime Duduch e Ernesto Massaroppi, pela ajuda e amizade.

Aos engenheiros Ricardo e Sachetto da Maxitec, Jorge Tanigami da Metal Leve, Christiano e Mantesse da Villares, Carlos e José Guilherme da Equitron e aos senhores José Rubens e José Fernandes da Traubomatic; pelas informações e pela atenção dispensada.

Ao meus irmãos Elder e Evandro, pela correção dos textos.

Ao pessoal do grupo de iniciação científica: Beth, Edison, Tania e Valério, pelo incentivo e amizade

Á todos os professores e funcionários do departamento de engenharia mecânica que contribuíram para o resultado final deste trabalho

Á Capes, pela bolsa concedida.

## RESUMO

**LOBÃO, Elidio de Carvalho.** *Intertravamento de Máquinas-Ferramenta: Proposta de roteiro para projeto e implementação, e estudo de caso em ambiente de manufatura flexível.* Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, S.P. - Brasil. fevereiro de 1995.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de intertravamento para um torno CNC em ambiente de manufatura flexível. É realizado um estudo sobre as diferenças entre os sistemas de intertravamento para sistemas convencionais de manufatura e para sistemas flexíveis e uma discussão sobre a confiabilidade dos mesmos. Propõe-se então um roteiro para projeto e implementação de sistemas de intertravamento do qual constam a realização de um estudo de riscos e operacionalidade; e o modelamento e simulação do modelo proposto para o sistema. Este roteiro então é seguido para a confecção do intertravamento de um torno CNC a ser ligado a uma célula de manufatura flexível integrada por computadores.

**Palavras-chave:** Intertravamento, Controlador lógico programável (PLC), Comando Numérico Computadorizado, Análise de Riscos, Sistema de Manufatura Flexível (FMS), Redes de Petri.

## ABSTRACT

**LOBÃO, Elidio de Carvalho.** *Machine-Tool Interlocking: Proposed Guide for Design and Implementation, and case study in Flexible Manufacturing System.* Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, S.P. - Brasil. fevereiro de 1995.

This work presents a CNC-Lathe interlocking system in a flexible manufacturing environment. A comparison between conventional and flexible manufacturing interlocking systems is made and their reliability discussed. A design and implementation guide for interlocking systems is proposed. This guide includes a study of hazard and operability, the modelling and simulation of the proposed system.

The design guide is then utilized in the development of the CNC-Lathe interlocking system which is linked in a computer integrated flexible manufacturing cell.

**Key words:** Interlocking, Programmable Logic Controller, Computerized Numeric Control, Hazard and Operability Analysis, Flexible Manufacturing Systems (FMS), Petri Nets.



## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Capítulo 1 - Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2 - Sistemas de manufatura.....</b>	<b>4</b>
2.1 - Sistemas flexíveis de manufatura .....	5
2.1.1 - Vantagens dos FMS sobre os sistemas convencionais.....	7
2.1.2 - Constituição dos sistemas flexíveis de manufatura.....	9
2.1.2.1 - Estações de processamento:.....	10
2.1.2.2 - Sistema de movimentação e armazenamento de materiais:.....	10
2.1.2.3 - Sistema de controle por computador. ....	11
2.1.3 - Flexibilidade das máquinas ferramenta CNC .....	11
2.2 - Sistemas de intertravamento .....	13
2.2.1 - Circuitos de intertravamento .....	15
2.2.2 - Aplicações para os sistemas de intertravamento .....	17
2.2.3 - Implantação de sistemas de intertravamento .....	18
2.3 - Comando numérico computadorizado (CNC) .....	20
2.3.1 - Histórico do desenvolvimento dos CNC .....	21
2.3.2 - Taxonomia dos comandos numéricos .....	23
2.3.3 - Vantagens e recursos dos comandos numéricos .....	26

2.3.4 - Programação de comandos numéricos.....	28
2.3.5 - Tendências no desenvolvimento dos comandos numéricos.....	30
2.4 - Controladores Lógicos Programáveis.....	31
2.4.1 - Componentes dos PLC's.....	33
2.4.2 - Tendências de evolução dos PLC's.....	34
2.4.3 - Vantagens da utilização de PLC's.....	35
2.4.4 - Programação de PLC's.....	35
2.4.4.1 - Uma ferramenta para programação de PLC: o pacote TP 888 da SIMATIC.....	36
2.4.4.2 - Métodos de programação de PLC's.....	37
2.4.4.3 - A estrutura de programa de um PLC.....	40
2.5 - Técnicas de análise de riscos.....	41
2.6 - Redes de Petri.....	45
2.6.1 - Componentes de uma rede de Petri.....	45
2.6.2 - Tipos de redes de Petri.....	47

<b>Capítulo 3 - Proposta de roteiro para projetos de sistemas de intertravamento.....</b>	<b>48</b>
3.1 - Discussão sobre intertravamento convencional de máquinas CNC e em ambientes de manufatura flexível.....	48
3.2 - Requisitos prévios ao desenvolvimento do projeto.....	50
3.2.1 - Chave geral de segurança.....	51
3.2.2 - Monitoramento de falhas internas.....	51
3.2.3 - Instalação elétrica de segurança.....	51
3.2.4 - Lógica de segurança.....	52
3.2.5 - Proteção ambiental.....	52
3.2.6 - Condições iniciais seguras.....	52
3.2.7 - Funções externas de "watch dog timer".....	52
3.2.8 - Redundância de fontes de alimentação.....	53
3.2.9 - Acesso restrito a modificações de "Software".....	53
3.2.10 - Controle da documentação do sistema.....	54
3.2.11 - Desenvolvimento modular da programação.....	54
3.2.12 - Redundância.....	54
3.2.13 - Separação dos sistemas de intertravamento dos outros sistemas eletrônicos.....	54
3.3 - Uma abordagem metódica, passo-a-passo.....	55

3.3.1 - Roteiro para projeto de sistemas de intertravamento.....	56
<b>Capítulo 4 - Desenvolvimento de um estudo de riscos e operacionalidade .....</b>	<b>61</b>
4.1 - Determinação das especificações do sistema.....	61
4.2 - Desenvolvimento de um estudo de riscos e operacionalidade.....	65
4.2.1 - classificação do nível de risco.....	66
4.2.2 -Estudo de operacionalidade e análise de acidentes: .....	67
4.2.2.1 - Acionar o freio do eixo-árvore:.....	68
4.2.2.2 - Pedido de troca de ferramentas:.....	69
4.2.2.3 - Abrir/fechar porta de alimentação do torno:.....	70
4.2.2.4 - Acionar avanço dos eixos X ou Z: .....	71
4.2.2.5 - Acionar o eixo-árvore:.....	73
4.2.2.6 - Ligar o líquido refrigerante.....	76
4.2.2.7 - Ligar o transportador de cavacos .....	77
4.2.2.8 - Prender/soltar peça da placa do eixo-árvore e movimentar o contraponto .....	78
4.2.2.9 - Circuito de lubrificação forçada .....	80
4.2.2.10 - Alimentação de energia elétrica .....	81
4.2.2.11 - Compressor. ....	82
4.2.2.12 - "Hardware" de intertravamento.....	82
4.2.2.13 - "Software" de intertravamento .....	82
<b>Capítulo 5 - Modelo para estudo inicial do sistema .....</b>	<b>84</b>
5.1 - Os diversos submódulos do modelo proposto.....	85
5.1.1 - Interface Homem Máquina (IHM) .....	85
5.1.2 - Máquina Ferramenta .....	86
5.1.3 - CNC.....	86
5.1.4 - PLC.....	86
5.1.5 - O sistema gerenciador da célula.....	87
5.2 - Trocas de dados entre os diversos submódulos .....	87
5.2.1 - PLC X CNC .....	87
5.2.2 - PLC X IHM.....	89

5.2.3 - PLC X máquina ferramenta .....	91
5.2.4 - PLC X Gerenciador da Célula .....	92
<b>Capítulo 6 - Desenvolvimento do diagrama lógico do processo .....</b>	<b>93</b>
6.1 - Considerações prévias ao desenvolvimento do diagrama booleano da lógica do processo .....	93
6.1.1 - Considerações atendidas pelo fabricante do equipamento: .....	93
6.1.2 - Considerações não atendidas pelo fabricante do equipamento: .....	94
6.2 - Bloco de comando do freio do eixo-árvore. ....	97
6.3 - Bloco de comando para troca de ferramentas. ....	99
6.4 - Bloco de comando da porta de alimentação do torno. ....	102
6.5 - Bloco de habilitação de movimentação dos eixos X e Z. ....	104
6.6 - Bloco de comando do eixo-árvore. ....	106
6.7 - Bloco de comando do líquido refrigerante. ....	108
6.8 - Bloco de comando do transportador de cavacos. ....	110
6.9 - Bloco de comando da placa do eixo-árvore. ....	112
6.10 - Bloco de comando do contraponto. ....	116
6.11 - Bloco de emergência. ....	118
<b>Capítulo 7 - Modelo do sistema de intertravamento em rede de Petri .....</b>	<b>120</b>
7.1 - Modelo do gerenciador do intertravamento. ....	123
7.2 - Modelo do módulo de leitura dos comandos do programa de usinagem. ....	128
7.3 - Modelo do módulo de atualização das entradas do PLC .....	131
7.4 - Modelo do módulo de comando do freio do eixo-árvore. ....	134
7.5 - Modelo do módulo de comando do trocador de ferramentas .....	137
7.6 - Modelo do módulo de comando da porta de alimentação do torno .....	140
7.7 - Modelo do módulo de comando dos eixos X e Z .....	143
7.8 - Modelo do módulo de comando do eixo-árvore .....	146
7.9 - Modelo do módulo de comando do líquido refrigerante de corte .....	149



7.10 - Modelo do módulo de comando do transportador de cavacos .....	152
7.11 - Modelo do módulo de comando da placa do eixo-árvore .....	155
7.12 - Modelo do módulo de comando do contraponto .....	158
7.13 - Modelo do módulo de emergência .....	161
7.14 - Modelo do módulo de atualização das saídas do PLC .....	164
7.15 - Modelo do módulo de interação do operador com o PLC .....	166
<b>Capítulo 8 - Simulação do modelo proposto .....</b>	<b>168</b>
<b>Capítulo 9 - Conclusões .....</b>	<b>179</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>182</b>

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2.1 - evolução da tecnologia de produção (AGOSTINHO, 1990)	5
Figura 2.2 - domínio de aplicação dos FMS (BELL et al., 1988)	6
Figura 2.3 - distribuição de tempo de manufatura para sistemas de produção com diferentes índices de flexibilidade (AGOSTINHO, 1985)	8
Figura 2.4 - lay-out de um FMS (GROOVER, 1987)	9
Figura 2.5 - flexibilidade de uma máquina ferramenta	12
Figura 2.6 - circuito de selo (PAPENKORT, 1989)	15
Figura 2.7 - circuito com relé de segurança (PAPENKORT, 1989)	16
Figura 2.8 - intertravamento de funcionamento dependente (PAPENKOURT, 1989)	17
Figura 2.9 - retorno financeiro dos sistemas de intertravamento, (KLETZ, 1985)	18
Figura 2.10 - sistema de troca automática de ferramentas (KATO, 1995)	22
Figura 2.11 - CN ponto-a-ponto (WIEN, 1984)	23
Figura 2.12 - CN de percurso (WIEN, 1984)	24
Figura 2.13 - CN de trajetória (WIEN, 1984)	24
Figura 2.14 - fluxo de ação de um CNA (MACHADO, 1987)	25
Figura 2.15 - PLC comercializado pela KLOCKNER-MOELLER	31
Figura 2.16 - arquitetura de um PLC	33
Figura 2.17 - pacote TP 888 (STEP 5: Manual - Vol 1-2, 1987)	37
Figura 2.18 - programação LADDER	38
Figura 2.19 - programação CSF	39
Figura 2.20 - programação STL	39
Figura 2.21 - estrutura modular de um programa STEP 5 (MAXITEC)	41
Figura 2.22 - fluxograma para um estudo de riscos (FREEMAN, 1989)	44
Figura 2.23 - exemplo de uma rede de Petri (ANACLETO, 1991)	46

**Capítulo 3:**

Figura 3.1 - roteiro para desenvolvimento de um projeto de intertravamento	56
--	----

**Capítulo 4:**

Figura 4.1 - célula de manufatura flexível	62
Figura 4.2 - CNC comercializado pela MCS	64

**Capítulo 5:**

Figura 5.1 - modelo estático do sistema	84
Figura 5.2 - interface homem-máquina	85
Figura 5.3 - sistema IHM/CNC/Máquina-Ferramenta	86
Figura 5.4 - o sistema CNC completo	87

**Capítulo 6:**

Figura 6.1 - diagrama lógico de comando do freio do eixo-árvore	98
Figura 6.2 - revólver de ferramentas do torno	99
Figura 6.3 - diagrama lógico para acionamento do comando do trocador de ferramentas	100
Figura 6.4 - lógica do comando do trocador de ferramentas	101
Figura 6.5 - diagrama lógico de comando da porta de alimentação	103
Figura 6.6 - diagrama lógico de comando para movimentação dos eixos X e Z	105
Figura 6.7 - diagrama lógico de comando do eixo-árvore	107
Figura 6.8 - diagrama lógico de comando do circuito do líquido refrigerante	119
Figura 6.9 - diagrama lógico de comando do transportador de cavacos	111
Figura 6.10 - diagrama lógico de comando para ativação do comando da placa	114
Figura 6.11 - diagrama lógico de comando para movimentação da placa	115
Figura 6.12 - diagrama lógico de comando para movimentação do contraponto	117
Figura 6.13 - diagrama lógico do bloco de emergência	119

**Capítulo 7:**

Figura 7.1 - modelo esquemático do PLC	120
Figura 7.2 - modelo da estrutura de comandos para o PLC	121
Figura 7.3 - modelo do gerenciador do intertravamento	127

Figura 7.4- modelo do módulo de leitura de comandos do programa de usinagem	130
Figura 7.5 - modelo do módulo de atualização das entradas do PLC	133
Figura 7.6 - modelo do módulo de comando do freio do eixo árvore	136
Figura 7.7 - modelo do módulo de comando do trocador de ferramentas	139
Figura 7.8 - modelo do módulo de comando da porta	142
Figura 7.9 - modelo do módulo de comando dos eixos de usinagem X e Z	145
Figura 7.10 - modelo do módulo de comando do eixo árvore	148
Figura 7.11 - modelo do módulo de comando do líquido refrigerante de corte	151
Figura 7.12 - modelo do módulo de comando do transportador de cavacos	154
Figura 7.13 - modelo do módulo de comando da placa	157
Figura 7.14 - modelo do módulo de comando do contraponto	160
Figura 7.15 - modelo do módulo de emergência	163
Figura 7.16 - modelo do módulo de atualização das saídas do PLC	165
Figura 7.16 - modelo do módulo de interação operador X PLC	167



## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2:

Tabela 2.1 - requisitos para desenvolvimento dos PLC's (MIYAGI, 1993)	32
---	----

### Capítulo 3:

Tabela 3.1 - intertravamento para sistemas flexíveis e sistemas convencionais	50
---	----

### Capítulo 4:

Tabela 4.1 - classificação para os níveis de risco	67
--	----

### Capítulo 5:

Tabela 5.1 - sinais de entrada e saída trocados entre PLC e CNC	88
Tabela 5.2 - sinais trocados entre PLC e CNC: funções M	89
Tabela 5.3 - sinais trocados entre PLC e IHM: alarmes ao operador	90
Tabela 5.4 - sinais de entrada do PLC vindos da máquina-ferramenta e de IHM	91
Tabela 5.5 - saídas do PLC para a máquina-ferramenta	92

### Capítulo 7:

Tabela 7.1 - "places" do gerenciador do intertravamento ativados em outros módulos	125
--	-----

Tabela 7.2 - transições do módulo do gerenciador do intertravamento que ativam outros módulos	126
Tabela 7.3 - "places" do módulo de leitura dos comandos do programa de usinagem ativados em outros módulos	129
Tabela 7.4 - "places" do módulo de atualização das entradas do PLC ativados em outros módulos	132
Tabela 7.5 - "places" do módulo de comando do freio do eixo árvore ativados em outros módulos	135
Tabela 7.6 - "places" do módulo de comando do trocador de ferramentas ativados em outros módulos	138
Tabela 7.7 - "places" do módulo de comando da porta ativados em outros módulos	141
Tabela 7.8 - "places" do módulo de comando dos eixos X e Z ativados em outros módulos	144
Tabela 7.9 - "places" do módulo de comando do eixo árvore ativados em outros módulos	147
Tabela 7.10 - "places" do módulo de comando do refrigerante de corte ativados em outros módulos	150
Tabela 7.11 - "places" do módulo de comando do transportador de cavacos ativados em outros módulos	153
Tabela 7.12 - "places" do módulo de comando da placa ativados em outros módulos	156
Tabela 7.13 - "places" do módulo de comando do contraponto ativados em outros módulos	159
Tabela 7.14 - "places" do módulo de emergência ativados em outros módulos	162
Tabela 7.15 - "places" do módulo de atualização das saídas do PLC ativados em outros módulos	164
Tabela 7.16 - "places" do módulo de atualização das saídas do PLC ativados em outros módulos	166

## **Capítulo 8:**

Tabela 8.1 - simulação dos blocos 1 e 2 do gerenciador do sistema de intertravamento	169
Tabela 8.2 - simulação da rotina de leitura de comandos do programa CN	170

Tabela 8.3 - simulação da continuação da rotina do gerenciador do intertravamento	170
Tabela 8.4 - simulação da rotina de atualização dos dados de entrada do PLC	171
Tabela 8.5 - continuação do "Loop" do gerenciador do Intertravamento	171
Tabela 8.6 - simulação do módulo de comando da porta de alimentação do torno	173
Tabela 8.7 - simulação do módulo de verificação das condições de emergência	174
Tabela 8.8 - continuação do "Loop" do gerenciador do Intertravamento	176
Tabela 8.9 - atualização das saídas do PLC	176
Tabela 8.10 - simulação da intervenção do operador	177
Tabela 8.11 - leitura do segundo comando do programa de usinagem	177

## Capítulo 1 - Introdução

A economia mundial vive atualmente um momento de aumento da competitividade nos mercados consumidores em decorrência de uma série de fatores tais como:

- queda de barreiras alfandegárias;
- substituição de fronteiras nacionais por fronteiras de blocos econômicos;
- descentralização do processo produtivo desencadeado por empresas transnacionais;
- informatização e integração de sistemas, etc.

Sendo assim, as empresas vem buscando soluções que possibilitem-nas competir dentro deste novo quadro econômico. Isto implica na modernização das plantas industriais, reposição de equipamentos obsoletos e alteração de "lay-outs", com uso intensivo de sistemas automatizados.

Estes sistemas, que possibilitam altos ganhos de produtividade (devido ao menor desperdício de tempo para inicialização dos equipamentos e maior eficiência no processo), qualidade (pela uniformização do produto) e rentabilidade (com índices menores de desperdício e maiores de produção), são cada vez mais complexos, e seu monitoramento e operação por parte de operadores humanos torna-se arriscado devido à complexidade e quantidade das ações corretivas a serem desencadeadas em caso de pane e do curto tempo de resposta disponível ao operador.



Os sistemas de intertravamento para controle e monitoramento de instalações, constituídos principalmente de PLC's e microcomputadores permitem contornar este problema. Eles realizam o monitoramento em tempo real dos diversos componentes da planta e processam o conjunto das informações recebidas. Se for então detectada uma situação que apresente riscos para o operador, para as instalações ou para o meio ambiente, tomarão medidas que eliminem (ou na pior das hipóteses, atenuem) estes riscos, garantindo a continuidade do processo ou então que o mesmo seja interrompido, porém de uma forma segura.

A tecnologia dos sistemas de controle de eventos discretos no entanto não está totalmente consolidada (MIYAGI, 1993), e poucos trabalhos sobre implementação dos mesmos são encontrados na literatura. Mais que isto: esses trabalhos geralmente são relatos de experiências pessoais de seus autores ou estudos de caso. Não há uma tentativa de propor-se um padrão a ser seguido de maneira metódica e uniforme. Isto trás consigo dificuldades de desenvolvimento de novos sistemas, pois a ausência de um padrão exige experiência dos projetistas.

De forma atacar este problema, nesta dissertação será proposto um procedimento para projeto e implementação de sistemas de intertravamento para máquinas ferramenta, o qual será então seguido para desenvolvimento de um sistema de intertravamento para um torno CNC em ambiente de manufatura flexível. Dentre os passos sugeridos neste roteiro, destacam-se um estudo de riscos e operacionalidade do equipamento e a proposição de um modelo em rede de Petri para simulação do funcionamento do mesmo. Estes dois tópicos tem uma finalidade em comum: permitir a identificação prévia de situações de risco que poderão aparecer durante o acionamento do sistema e desta forma poupar tempo e recursos humanos ou materiais.

O estudo de riscos e operacionalidade deve ser realizado para procurar identificar-se previamente os possíveis acidentes que poderão ocorrer durante a operação do equipamento. Com base nestas informações propõe-se então a lógica de intertravamento do sistema de forma a atenuar (ou se possível for, eliminar) as probabilidades e as conseqüências destas situações.

Já o modelo para simulação do sistema deve ser implementado a partir de algumas informações previamente analisadas:

- as especificações físicas do sistema;

- o estudo de riscos e operacionalidade;
- o tipo de uso a que o sistema estará sujeito; e
- a lógica de intertravamento do processo.

Uma ferramenta para confecção do modelo é a rede de Petri, escolhida porque ela apresenta sobre outras ferramentas de modelagem algumas vantagens, tais como a possibilidade de modelar o sistema em níveis mais baixos, estudar o funcionamento do mesmo de forma analítica ou gráfica e tratar os problemas encontrados utilizando a teoria geral de redes, já previamente desenvolvida.

Esta dissertação foi estruturada em 9 Capítulos:

No Capítulo 2 apresenta-se uma discussão sobre sistemas de manufatura flexíveis, sistemas de intertravamento e sobre assuntos pertinentes ao desenvolvimento de um sistema de intertravamento: os CNC's, os PLC's, técnicas de análise de riscos e a teoria de redes de Petri.

No Capítulo 3 é apresentada uma discussão sobre as diferenças entre os sistemas de intertravamento para ambientes de manufatura convencional e flexível e um estudo sobre tópicos que influenciarão na sua confiabilidade durante seu funcionamento. A seguir, é então proposto o roteiro para projeto de sistemas de intertravamento.

Nos Capítulos seguintes, é desenvolvido um sistema de intertravamento para um torno CNC em ambiente de manufatura flexível de acordo com o roteiro apresentado: no Capítulo 4 realiza-se um estudo de riscos e operacionalidade para o mesmo; no Capítulo 5 propõe-se um modelo para o estudo do seu fluxo de dados e sinais; no Capítulo 6 é proposta a lógica do intertravamento; no Capítulo 7 propõe-se um modelo para estudo e simulação do mesmo; e no Capítulo 8 é realizada a simulação de funcionamento do modelo proposto, tomando-se como base um programa de usinagem hipotético. Os passos seguintes do roteiro proposto não serão executados porque exigiriam disponibilidade de equipamentos que no momento não estão disponíveis no Laboratório de máquinas ferramenta (LAMAPE). Finalmente, no Capítulo 9 apresenta-se as conclusões e considerações finais sobre o trabalho.

## Capítulo 2 - Sistemas de manufatura

Desde o princípio, o homem tem procurado desenvolver métodos e ferramentas de trabalho que lhe permitam realizar suas tarefas diárias de forma mais eficiente e com menor esforço físico, conforme afirma o professor de sociologia do trabalho da Universidade de Roma, Domenico de MASSI (1994),

"o progresso humano é o grande itinerário do homem em busca da libertação do esforço físico e mental".

Com o surgimento de invenções como o relógio, a bússola, o arado e os moinhos, o homem passa a procurar meios não mais para garantir apenas sua subsistência, mas também maneiras de satisfazer necessidades outras além das primárias como comida, segurança e sobrevivência - e isto propiciou o aparecimento da sociedade industrial. Esta apresentou um desenvolvimento lento em seu início, tendo grande impulso a partir da invenção da máquina a vapor na Inglaterra - o que detonou o processo conhecido como revolução industrial.

A evolução dos sistemas de manufatura dá-se no sentido de obter índices cada vez maiores de produtividade e competitividade, o que exige capacidade de produzir quantidades sempre crescentes de peças diferentes com o mínimo de modificações nos equipamentos disponíveis; isto é: que o sistema contenha um alto índice de flexibilidade (definida por MOODY (1990) como "sensibilidade às mudanças, adaptabilidade, capacidade de modificar-se ou variar-se").

Esta característica permite reduzir o custo relativo destes equipamentos no custo do produto final e dá à empresa agilidade para responder rapidamente às ações de seus competidores.

A Figura 2.1 a seguir (AGOSTINHO, 1990) ilustra a relação entre a evolução da tecnologia dos sistemas produtivos e seu grau de flexibilidade.

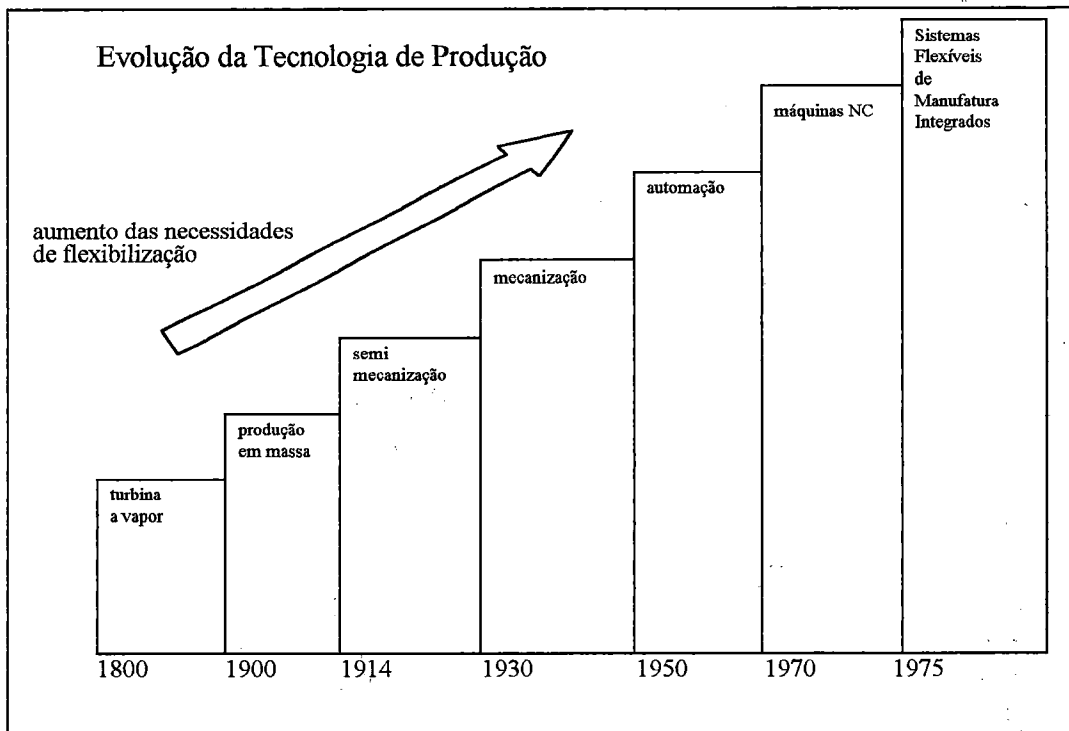


Figura 2.1 - evolução da tecnologia de produção (AGOSTINHO, 1990)

## 2.1 - Sistemas flexíveis de manufatura

Durante muito tempo, os altos índices de produtividade somente eram obtidos nas linhas de produção de grandes lotes, pois os sistemas de automação rígida permitiam a diluição dos custos na grande quantidade de peças produzidas (MORANDIN, 1994).

O desenvolvimento da eletrônica no entanto, permitiu o aparecimento de sistemas de automação flexíveis (compostos basicamente por máquinas ferramenta CNC), que combinados em diversos módulos ou células formam os chamados sistemas flexíveis de manufatura (FMS), definidos por POLITANO (1993) da seguinte maneira:

"...um sistema que conecta estações de trabalho automatizadas com um sistema de manipulação de materiais. Tem como objetivo fornecer uma capacidade de fabricação automatizada em multiestágios para confecção de uma maior variedade de peças..."

Porém, seu emprego massivo somente se deu devido a alguns fatores gerados pelo acirramento da competitividade internacional, tais como:

- diminuição do ciclo de vida dos produtos: AGOSTINHO, (1990) afirma que de acordo com pesquisas desenvolvidas em diversos países, pode-se afirmar que de 75% a 90% de toda a produção de bens é feita através da produção por lotes de até 50 peças
- segmentação do mercado em nichos: PINE (1994) ressalta que vivemos a era da produção flexível, em que as fábricas curvam-se diante do gosto do consumidor e tentam oferecer a cada um o que ele quer, em vez de empurrar a todos a mesma solução padrão .

Os fatores acima citados exigem índices cada vez maiores de flexibilidade. HAYES E PISANO (1994), professores da Harvard Business School, afirmam que a habilidade para competir e ter sucesso econômico, no presente e no futuro, depende cada vez mais profundamente de uma adaptação contínua e antecipada da empresa às exigências do mercado:

"Num ambiente estável, a estratégia competitiva consiste em conquistar e manter uma posição no mercado e a estratégia industrial implica na busca de melhorias para defender aquela posição. Num ambiente turbulento, no entanto, a meta é ter uma estratégia flexível. Ter padrão internacional não é suficiente, uma companhia também tem de ter a capacidade de trocar rapidamente de rumo".

BELL et al. (1988) definem o domínio de aplicação dos FMS em indústrias que trabalham com volumes de produção de porte médio e com um diversificado número de peças, conforme ilustra a Figura 2.2 a seguir:

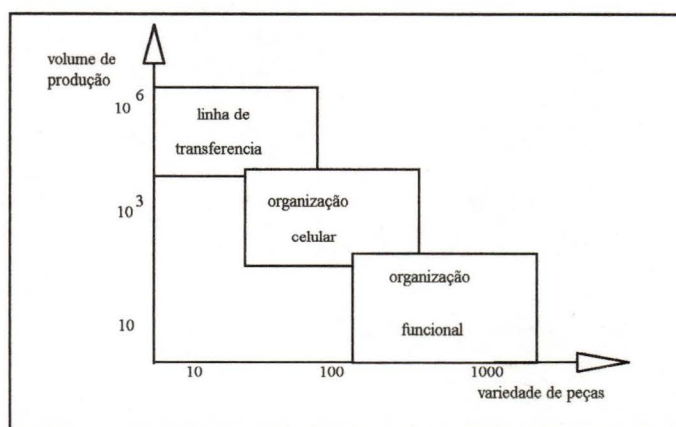


Figura 2.2 - domínio de aplicação dos FMS (BELL et al., 1988)

Os principais objetivos de um sistema flexível de manufatura são ressaltados por WECK et al. (1991) e por OGASAWARA (1983):

- aumento da produtividade;
- aumento da flexibilidade;
- redução do estoque;
- redução do tempo gasto entre as estações de trabalho; e
- motivação dos operários através da realização de tarefas não repetitivas;

KUNZLE (1990) destaca as principais características de um FMS:

- capacidade de processar diferentes componentes, sem intervenção humana significativa para adaptação das máquinas ou interrupção do processo de fabricação para reequipamento do conjunto;
- capacidade de processar simultaneamente peças diferentes;
- capacidade de processar uma determinada variedade de peças utilizando o mesmo equipamento e o mesmo sistema de controle;
- flexibilidade na escolha de uma estação de trabalho para execução de uma operação;
- alto grau de automatização, com utilização de máquinas e equipamentos com capacidade de operação autônoma, e interfaces inteligentes para acesso de materiais e troca de sinais;
- fluxo intensivo de informações; e
- capacidade de adaptação a alterações no projeto dos produtos e processos.

### **2.1.1 - Vantagens dos FMS sobre os sistemas convencionais**

São listadas a seguir algumas vantagens advindas da implantação de um sistema de manufatura flexível:

- grande produtividade (em média, um ganho de 120% - AGOSTINHO, 1985), o que significa uma grande quantidade de produto (output) para um menor custo unitário, em um espaço físico (shop-floor) 45% a 85% menor (RANK, 1983);

- o sistema de manuseio e armazenagem automática de materiais permite o desenvolvimento de um sistema de inventário automático, com níveis de estoque bem mais baixos (decréscimo médio do nível de inventário em processo, por volta de 75% - AGOSTINHO, 1985);
- melhoria da qualidade devido a maior uniformidade e consistência do produto (em média, 140% - AGOSTINHO, 1985);
- o capital investido é de 5% a 10% menor quando comparado com sistemas CNC convencionais que operam automaticamente (RANK, 1983);
- a fidelidade da produção é aumentada por um sistema inteligente e auto-corretivo (cujas máquinas estão equipadas com sistemas de sensoriamento e realimentação);
- as peças podem ser produzidas aleatoriamente em lotes, e o lead-time pode ser reduzido em uma taxa de 50% até 75% (RANK, 1983); e
- enquanto em um FMS o tempo não produtivo é da ordem de 10%, em outros sistemas convencionais, o tempo decorrido desde a saída do estoque até o item final, somente algo em torno de 5% é gasto em atividades produtivas (de transformação) (RANK, 1983). A Figura 2.3 a seguir (AGOSTINHO, 1985) mostra a distribuição percentual de tempo para algumas configurações de sistemas de manufatura com diferentes índices de flexibilidade.

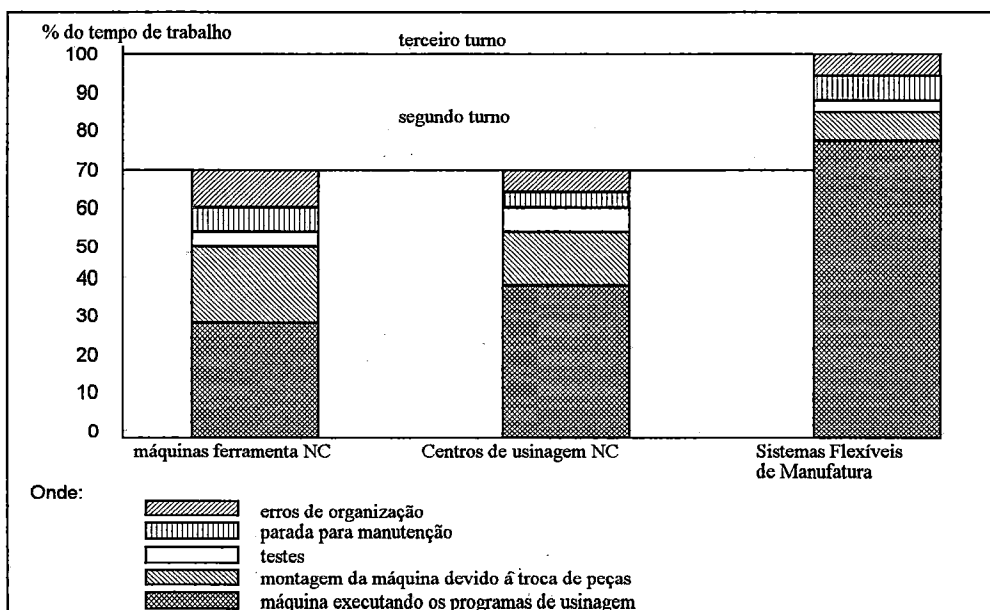


Figura 2.3 - distribuição de tempo de manufatura para sistemas de produção com diferentes índices de flexibilidade (AGOSTINHO, 1985)

Outro fator importante a ser mencionado é que embora um FMS necessite de menor (ou nenhum) emprego de mão de obra, o pessoal de apoio remanescente (engenheiros para produção e manutenção) deve ser altamente especializado, o que demanda mais treinamento e maiores salários.

### 2.1.2 - Constituição dos Sistemas Flexíveis de Manufatura

Fazendo-se uma analogia, a fábrica convencional assemelha-se a um encouraçado, e o novo modelo flexível assemelha-se a uma flotilha de pequenos destróiers, consistindo em módulos centrados numa etapa do processo de produção ou num número de operações estreitamente interrelacionadas (na figura 2.4, o "lay-out" de um FMS - GROOVER, 1987). Embora o comando e o controle central continuem persistindo, há uma nova organização hierárquica, e cada módulo terá seu próprio comando e controle.

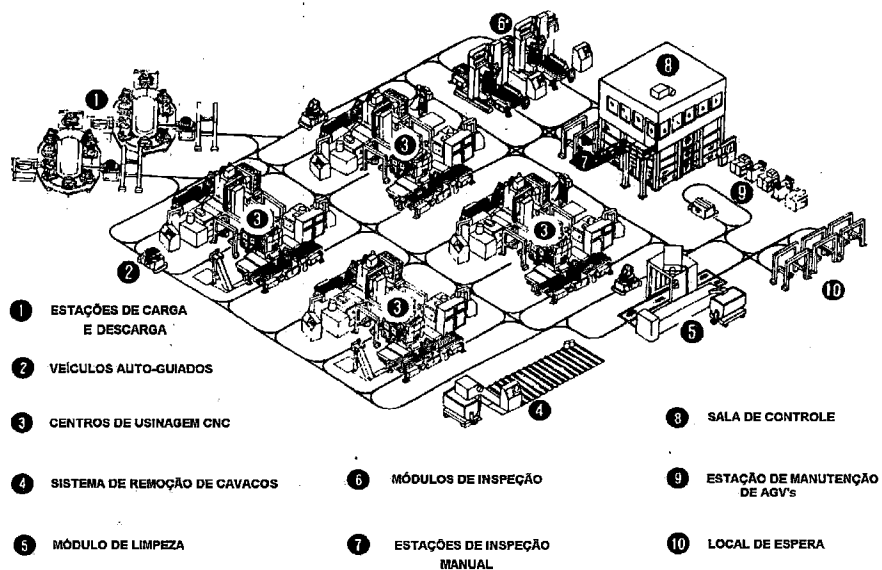


figura 2.4 - Lay-out de um FMS

Cada um será, como os destróiers de uma flotilha, manobrável tanto em termos de sua posição no processo inteiro como em relação aos outros módulos. Essa organização dará a cada um dos módulos os benefícios da padronização e, ao mesmo tempo, dará ao processo inteiro maior flexibilidade. Permitirá, assim, rápidas mudanças no projeto e no produto, rápidas respostas às demandas do mercado e possibilitará a produção de



pequenos lotes de artigos "opcionais" (direcionados a uma pequena fatia do mercado) a baixo custo.

GROOVER (1987), subdivide os componentes de um FMS em três categorias principais: estações de processamento, sistema de movimentação e armazenagem de materiais e sistema de controle por computador, as quais também são destacadas por MORANDIN (1994).

#### **2.1.2.1 - Estações de processamento:**

As estações de processamento são basicamente máquinas ferramenta CNC que realizam operações de usinagem em famílias de peças, onde algumas vezes são incluídas estações de inspeção. As estações podem ainda ser subdivididas em estações dedicadas, que empregam máquinas ferramentas especiais, de grande especialização e estações aleatórias, desenvolvidas para processar uma grande variedade de peças em sequências não pré-programadas.

#### **2.1.2.2 - Sistema de movimentação e armazenamento de materiais:**

Esses realizam as tarefas de transporte, manipulação e armazenagem de peças dentro de uma planta industrial e devem satisfazer os seguintes requisitos:

- movimentação aleatória entre as estações de processamento;
- armazenamento temporário;
- compatibilidade com o controle computadorizado;
- previsão para expansão futura;
- aderência a todos os códigos industriais;
- acesso a máquina ferramenta; e
- operação em ambiente de chão de fábrica.

Os elementos de um sistema de movimentação e armazenagem de materiais podem ser agrupados em:

- robôs industriais;
- veículos auto-guiados;

- transportadores; e
- armazens automatizados.

### **2.1.2.3 - Sistema de controle por computador.**

Este sistema é empregado para coordenar as atividades das estações de processamento e do sistema de movimentação e armazenagem. As funções desempenhadas pelos mesmos bem como os dados necessários para o desempenho dessas funções podem ser agrupados em:

- armazenamento de programa NC da peça;
- distribuição dos programas de usinagem para as máquinas ferramenta individuais;
- controle de produção;
- controle de tráfego;
- controle "shuttle" (relacionado com o gerenciamento da parte secundária da máquina, ou seja: com os dispositivos de carga e descarga);
- monitorização do sistema de movimentação;
- controle de ferramenta; e
- monitorização e informação do desempenho/eficiência do sistema.

### **2.1.3 - Flexibilidade das máquinas ferramenta CNC**

Conforme o Ítem 2.1.2.1 anteriormente comentado, os sistemas flexíveis de manufatura utilizam largamente máquinas ferramenta CNC em suas mais diversas configurações. Sendo assim, é importante uma análise sobre a flexibilidade apresentada por estes equipamentos.

Devido à configuração modular dos comandos numéricos, constituídos por dois blocos - o PLC e o CNC, a flexibilidade dos mesmos pode ser subdividida em dois índices específicos, e que permitem expressar de uma maneira clara a flexibilidade das máquinas ferramenta comandadas numericamente, de acordo com a Figura 2.5 a seguir.

O CNC contém o índice de flexibilidade FI, de nível mais alto e que permite rápidas e fáceis alterações nos programas de usinagem. Este programa é alterado com uma frequência muito maior que o programa do PLC (o programa de intertravamento), sempre que houver uma mudança no produto, no processo ou na programação da produção. Por isto, o mesmo é armazenado em meios cuja alteração é bem simples e pouco trabalhosa: em disquetes magnéticos e na memória RAM do sistema.

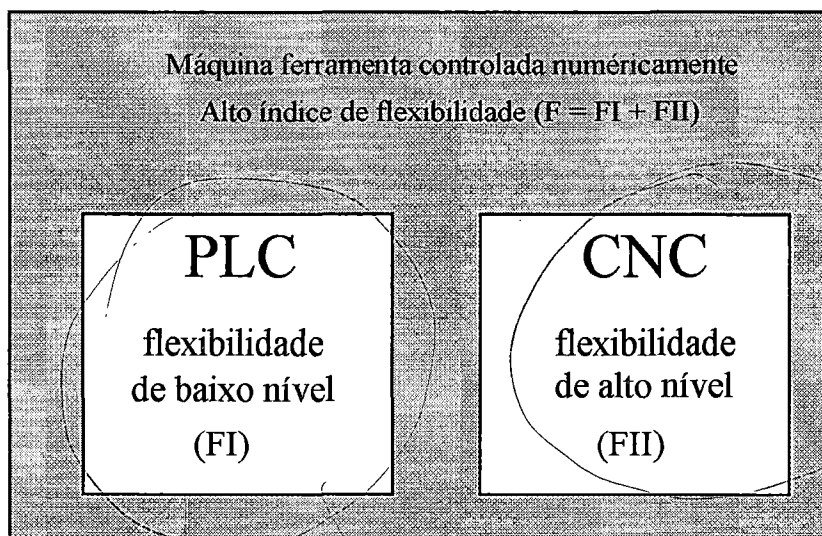


Figura 2.5 - flexibilidade de uma máquina ferramenta

Já o PLC contém o índice de flexibilidade FII, de nível mais baixo, e que permite alterações estruturais no programa do sistema de controle e intertravamento da máquina ferramenta. Este programa só é modificado quando há alterações na configuração do sistema, como no caso de "upgrades" com a alocação de novos equipamentos, novas funções ou novos periféricos, ou então no caso de "retrofit" da máquina.

Sua alteração, além de não ser muito freqüente é bastante trabalhosa, e sendo assim, os dados do programa de intertravamento são armazenados em um meio que possui uma maior segurança, que são as memórias EPROM. O desenvolvimento do sistema de intertravamento de uma máquina ferramenta é um processo longo e envolve uma grande quantidade de variáveis; e uma falha no mesmo trás consequências de grandes proporções tanto para o equipamento quanto para o operador e para o ambiente envolvido.

## 2.2 - Sistemas de intertravamento

Equipamentos que apresentam algum tipo de risco ao usuário ou a terceiros, devem possuir dispositivos de segurança que protejam contra estes riscos. Este tipo de dispositivo é bastante comum no cotidiano, embora possam na maioria das vezes passar despercebidos:

- as portas dos automóveis possuem travas para evitar que abram-se repentinamente;
- armas de fogo possuem travas que evitam que disparem acidentalmente;
- fitas cassetes e disquetes de computador também possuem travas que evitam que informações importantes percam-se inadvertidamente; e
- dispositivos de controle de nível e de vazão evitam que as caixas d'água residenciais transbordem quando o nível de água atinge um certo limite.

Além destes, poderiam ser citados muitos outros exemplos de sistemas com travas de segurança. Porém estes são sistemas muito simples, onde uma única trava pode garantir a segurança desejada de maneira plenamente satisfatória - o que não ocorre em sistemas mais complexos, onde a quantidade de variáveis consideradas é bem maior, e as situações de risco não são estáticas: dependendo do estado do conjunto total das variáveis consideradas, uma determinada situação deverá ou não ser inabilitada de forma a garantir a segurança do conjunto. Mais ainda: de acordo com as mudanças que venham a ocorrer no estado do conjunto de variáveis acima mencionado, uma condição que até agora era proibitiva por razões de segurança pode vir a tornar-se indispensável ao funcionamento ou mesmo à integridade do sistema como um todo.

Nesses sistemas mais complexos não basta a colocação de simples travas para habilitar ou desabilitar algumas funções do equipamento considerado. Será necessária a confecção de um sistema dinâmico e inteligente que realize esta tarefa de travar ou habilitar funções do mesmo levando em consideração as condições de interdependência do conjunto de variáveis e que mude sua saída imediatamente reabilitando algumas funções que estavam inibidas ou desabilitando outras que até este momento

permaneciam ativas conforme modifique-se qualquer uma das variáveis consideradas.

Esses sistemas que realizam (ou não) o travamento de algumas funções de um equipamento são comumente chamados de sistemas de intertravamento, os quais segundo DOMBROWSKI, JOHNSON E MCCALL (1991) podem ser definidos como:

"... um sistema que detecta condições fora da área pré-estabelecida de trabalho ou sequências impróprias e, ou aborta a ação em andamento ou então inicia as ações corretivas necessárias".

ROZENFELD (1992) classifica os sistemas de intertravamento de acordo com o processo industrial por eles controlados, o que resulta em:

- sistema de intertravamento de processos contínuos - aplicados em indústrias de processo de produção contínuo; e
- sistema de intertravamento de processos discretos - aplicados em indústrias de processo de produção discreto.

Já MIYAGI (1993), classifica os sistemas de intertravamento em 7 subgrupos, de acordo com a função desempenhada pelo mesmo:

- intertravamento de partida: contém as condições que devem ser satisfeitas no instante de partida do sistema;
- intertravamento de funcionamento: contém as condições que devem ser observadas pelo sistema durante o seu funcionamento;
- intertravamentos temporizados: neste caso, determina-se um intervalo de tempo para o início do funcionamento de determinado equipamento (por exemplo, no ato de inversão do sentido de rotação de um motor);
- intertravamento de não simultaneidade: evita que certos estados ocorram simultaneamente;
- intertravamento de seqüência: estabelece as condições de habilitação de ações entre equipamentos ligados em série. Não permite que nenhuma ação futura ocorra enquanto o estado presente não for executado; e
- intertravamento de processo: somente permitirá a execução de uma ação se todas as ações e condições das etapas anteriores forem completamente executadas e todos os preparativos para a próxima etapa estiverem satisfeitos.

## 2.2.1 - Circuitos de intertravamento

No projeto de um sistema de intertravamento um projetista pode-se valer de uma grande variedade de soluções, limitadas apenas pela criatividade e experiência. Cada sistema deve ser encarado como um caso inédito, visto que dificilmente serão encontrados dois sistemas idênticos, pois o número de variáveis envolvidas é muito grande e sem nenhuma relação de interdependência: a área da planta, os equipamentos presentes, a programação da produção, condições ambientais, etc. Sendo assim, para cada projeto deve ser encontrada uma solução particular.

No entanto, um recurso muito poderoso sempre à mão de engenheiros e projetistas de qualquer tipo de sistema é a modularidade - a partir da combinação de módulos básicos pode-se chegar a uma grande variedade de soluções para praticamente qualquer tipo de sistema. Para o desenvolvimento de projeto de sistemas de intertravamento também existem alguns circuitos clássicos e básicos já bastante conhecidos e de comprovada eficiência que quando combinados podem chegar a soluções bem mais complexas. Alguns exemplos destes circuitos são apresentados a seguir:

- **Circuito de selo.** É um tipo de circuito muito utilizado para intertravamento de comando de máquinas ferramenta, e é ilustrado na Figura 2.6 a seguir (PAPENKORT, 1989):

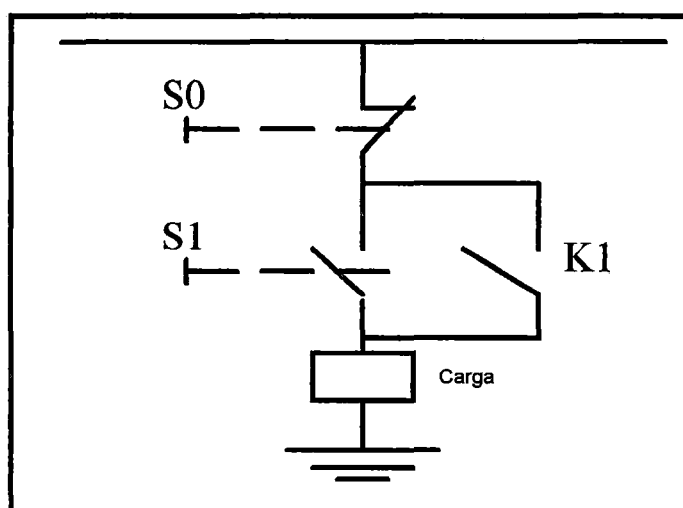


Figura 2.6 - circuito de selo (PAPENKORT, 1989)

Este circuito funciona da seguinte maneira: para acionar a carga, o operador deve pressionar o botão S1 (monoestável e normalmente aberto)

da botoeira que fará circular corrente através do caminho S0-S1-carga-terra. O contato auxiliar K1 é acionado magneticamente pela corrente que circula neste caminho, selando assim o mesmo após o operador soltar o botão S1, e fazendo com que a carga fique permanentemente acionada até que o operador pressione a chave S0 (também monoestável mas normalmente fechada).

Isto interromperá a corrente que passa pelo circuito e faz o contato auxiliar K1 voltar a sua posição de repouso que é normalmente aberta, interrompendo assim o funcionamento do circuito até que este seja novamente acionado por S1.

- **Circuito com relé de sobrecarga** - caso deseje-se evitar o reacionamento automático e imediato de um circuito quando desativado por um relé de sobrecarga, pode-se lançar mão de um circuito com trava de religamento, o que pode ser obtido com a colocação em série de um relé de sobrecarga (F1) no circuito anterior: a ativação deste relé de sobrecarga (normalmente fechado) equivale ao desligamento do circuito pelo operador através da chave S0, e assim o mesmo irá para um estado estável de desligamento (Figura 2.7 a seguir - PAPENKORT, 1989).

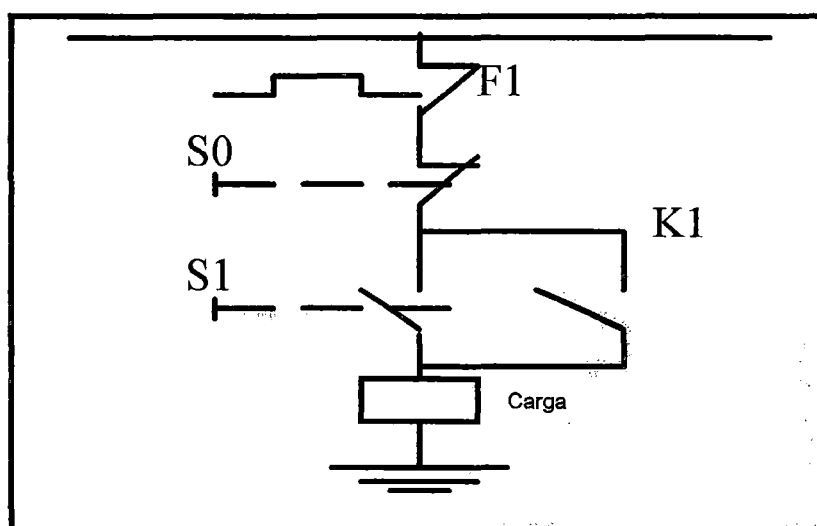


Figura 2.7 - circuito com relé de segurança (PAPENKORT, 1989)

- **intertravamento de duas máquinas com esquema de funcionamento dependente:** o circuito a seguir mostra o esquema de ligação de duas máquinas ferramenta cujo funcionamento está intertravado da seguinte maneira: a máquina 1 (M1) pode ser ligada independentemente da máquina 2 (M2); porém esta segunda é dependente do funcionamento da

primeira, pois o contato K1, em série com M2 é o contato auxiliar (de selo) de M1, e desta forma M2 só poderá ser ligada se K1 estiver fechado, isto é: se a máquina M1 estiver ligada (Figura 2.8 a seguir - PAPENKORT, 1989):

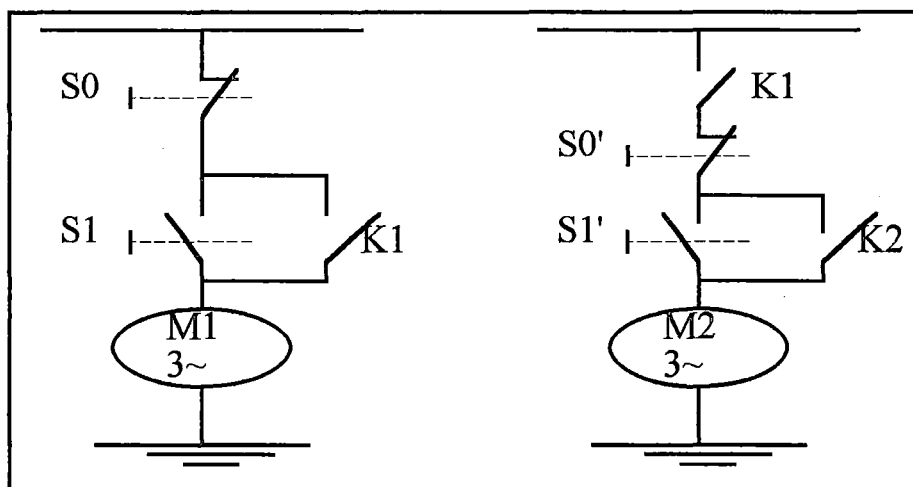


Figura 2.8 - intertravamento de funcionamento dependente (PAPENKORT, 1989)

### 2.2.2 - Aplicações para os sistemas de intertravamento

Os sistemas de intertravamento possuem uma vasta gama de aplicações nas mais diversas áreas onde houver necessidade de dispositivos para monitoramento das instalações, de forma a garantir a segurança e proteger os operadores e/ou equipamentos. Alguns exemplos podem ser citados, tais como:

- controle de uma máquina ferramenta para confecção de placas de circuito impresso (LEONOV e MEDVEDEV 1987);
- controle de temperatura em um reator para testes de fusão (LAWSON et al 1989);
- para controle de tráfego ferroviário (VERMA 1989 e ARIKAN 1990);
- monitoramento de fogo em geradores para eletrólise da água (Water Electrolysis Generator-WEG), (CHELNOKOV et al. 1990);
- controle de nível de aquecimento de geradores (KUGLER 1990);
- sistemas de controle da qualidade do ar em instalações que manipulam gases tóxicos (BISWAS e MORKOC 1991); e
- sistemas de segurança para pedais de automóveis (ROUSH, PEZOLDT e BRACKETT 1992);



além de uma série de aplicações para controle de máquinas-ferramenta em chão de fábrica, que compõe o escopo principal deste trabalho.

### 2.2.3 - Implantação de sistemas de intertravamento

sistemas de intertravamento geralmente são bastante complexos, e implicam despesas adicionais na implantação de um projeto. Desta forma, é importante que se coloque no início de seu desenvolvimento a questão da sua real necessidade de implantação, e qual o nível de profundidade exato requerido do sistema. Se a ausência de sistemas de monitoramento e proteção automáticos pode trazer grandes prejuízos a uma empresa com indenizações, manutenção, reparos e reposições; também um nível excessivo e superdimensionado de proteção podem, além de tornar o sistema mais complexo, dificultando o trabalho de manutenção e o entendimento do mesmo, diminuir a sua confiabilidade, ao contrário do que se poderia supor, segundo CHANDRA e VERMA (1991) :

" Um sistema de intertravamento muito complexo apresenta demanda maior de recursos e aumenta a complexidade de "hardware" e "software", o que induz a custos mais altos dos testes de validação. Conseqüentemente, ele pode na realidade reduzir a confiabilidade do sistema, desde que algumas falhas mais frequentemente aparecerão em seu sistema de teste e validação".

O superdimensionamento do sistema de segurança da empresa poderá também encarecer demais os seus produtos, o que implicará numa queda da competitividade da mesma frente aos seus concorrentes e a conseqüente perda de fatias de mercado, conforme ilustra a Figura 2.9 a seguir que relaciona os custos de implantação dos sistemas de segurança com os lucros obtidos pela empresa (KLETZ - 1985) :

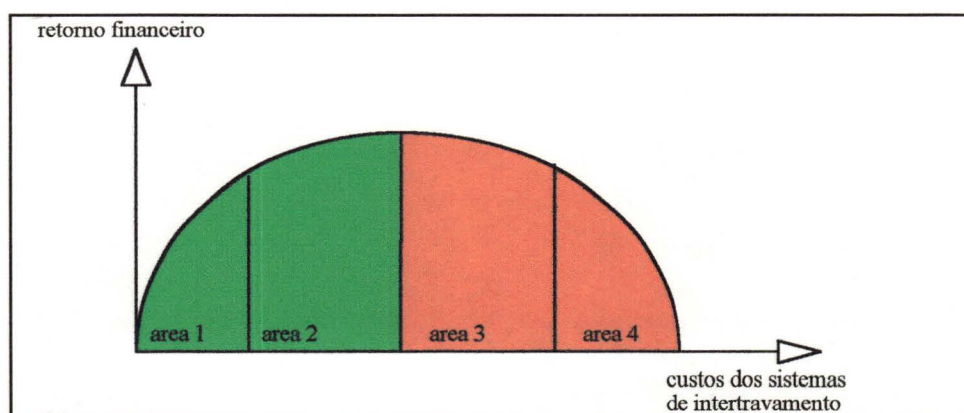


Figura 2.9 - retorno financeiro dos sistemas de intertravamento (KLETZ - 1985)

Do gráfico anterior, verifica-se a relação entre os custos de implantação de sistemas de intertravamento e a taxa de variação do lucro relativo da empresa. Na primeira área da esquerda para direita o crescimento dos lucros é grande para um pequeno aumento dos investimentos em segurança. Na segunda área ainda há um aumento dos lucros com investimentos em segurança, porém numa taxa menor, sendo necessário um investimento maior de capital em sistemas de segurança para obtenção do mesmo montante de lucro, e justifica-se apenas para sistemas mais complexos que apresentem níveis de riscos um pouco mais alto. A partir deste ponto, conforme aumentam os gastos com sistemas de segurança haverá uma queda nos lucros da empresa - primeiramente de forma mais suave, depois de forma mais acentuada e finalmente, entra-se numa área onde começam a aparecer os prejuízos. Estas terceira e quarta áreas devem ser considerada proibida para gerentes e projetistas de empresas convencionais (só é justificável para projetos que envolvam altos riscos, tais como usinas nucleares, hospitais, etc).

Com relação à questão colocada no início deste Ítem (sobre a real necessidade de implementação de sistemas de intertravamento), na maioria das vezes conclui-se pela necessidade de sua implantação, pois unidades industriais ou mesmo laboratórios de pesquisa trazem inseridos em suas instalações uma série de riscos, sejam estes relativos ao bom funcionamento dos equipamentos, à integridade do meio ambiente ou ainda, à saúde e integridade física do(s) operador(es).

Há que se frisar também que esses operadores, muitas vezes ou não possuem condições de monitorar adequadamente os acontecimentos a sua volta devido a sua própria natureza humana, ou então, por estarem submetidos a condições de trabalho inadequadas, perdem uma parte de seus reflexos e a capacidade de resposta imediata em situações de emergência, conforme afirmam BALLS e GRHUN (1991):

"Operadores humanos interagem continuamente com sistemas de controle de processos, e podem vir a tornar-se não confiáveis quando submetidos a condições estressantes causadas por situações de emergência"

sendo assim, ainda segundo BALLS e GRHUN (1991), de forma a procurar amenizar ou mesmo eliminar estes problemas, recorrem-se a sistemas de intertravamento:

"...sistemas de intertravamento automáticos são necessários, pois apresentam maior grau de confiabilidade e facilidades de reparação."

Nestes sistemas, deve-se procurar prever as possíveis falhas e os potenciais incidentes e acidentes decorrentes do comportamento inadequado de uma das variáveis monitoradas nas instalações - seja devido a um problema relacionado á uma das máquinas ou um dos elementos do sistema, ou ainda, devido à falta de habilidade dos operadores ou à intervenção não autorizada de pessoas estranhas ao ambiente considerado. Deve-se então, estabelecer um sistema de "software" e/ou "hardware" que habilite ou iniba o funcionamento de alguns dos componentes ou mesmo do sistema como um todo, porém de forma que a parada dos mesmos ocorra em um estado seguro (livre de riscos e danos) para as instalações, os operadores e ao meio ambiente: o sistema de intertravamento propriamente dito.

O processo de projeto de um sistema de intertravamento pode ser mais ou menos complexo, dependendo do nível de risco a que as pessoas, instalações e/ou o meio-ambiente estarão expostos e da amplitude das consequências que algum acidente possa trazer.

A seguir, serão apresentados alguns conceitos utilizados para o desenvolvimento de projetos de sistemas de intertravamento para máquinas ferramenta Comandadas Numericamente em ambiente de manufatura flexível:

- a base de "hardware" onde o sistema será implementado (o CNC e o PLC); e
- algumas ferramentas para desenvolvimento do sistema: técnicas de análise de riscos (Hazop e Hazan) e de modelagem de sistemas (Redes de Petri).

### **2.3 - Comando numérico computadorizado (CNC)**

As máquinas ferramenta Comandadas Numericamente surgiram de uma dificuldade encontrada por alguns setores industriais: a manufatura de uma variedade de peças diferentes com alto grau de precisão, em pequenos lotes e em um período de tempo consideravelmente pequeno. Estes requisitos inviabilizavam os sistemas de produção em massa devido aos pequenos tamanhos dos lotes e também a produção artesanal, devido á necessidade de rapidez na entrega das peças. Sendo assim, os

pesquisadores partiram em busca de uma solução que permitisse a produção de peças com alto índice de precisão, grande flexibilidade e rapidez. No final da década de 40 e início dos anos 50 (mais precisamente em 1949, segundo MACHADO(1987)) um consórcio formado por pesquisadores do Laboratório de Servo-mecanismos do Instituto de Tecnologia de Massachusets (M.I.T - Massachusets Institute of Technology) e da Parsons Corporations, com forte apoio da Força Aérea dos Estados Unidos (a indústria aeronáutica era o setor que mais se ressentia da necessidade de superação dos problemas acima citados, e conseqüentemente, o que mais se empenhou no desenvolvimento de sistemas CNC e também aquele que inicialmente mais se beneficiou dos mesmos) empreendeu um projeto de adaptação de um comando numérico em uma fresadora de três eixos Hydrotel da Cincinnati Milling Machine Company. A partir daí, uma série de eventos, como o desenvolvimento do estado da arte da eletrônica e o aparecimento da informática foi determinando a constante evolução dos sistemas de comando numérico até os sofisticados equipamentos dos dias de hoje.

### **2.3.1 - Histórico do desenvolvimento dos CNC**

A seguir será apresentado um pequeno histórico relatando os principais fatos que contribuíram para o desenvolvimento em larga escala dos comandos numéricos (MACHADO,1987):

- 1940 - Mark I - primeiro computador construído por Harvard e pela IBM.
- 1945 - Primeiras pesquisas sobre sistemas de máquina-ferramentas com comandos numéricos.
- 1949 - Início do consórcio entre a Parson Corporation, o M.I.T. (Massachusets Institute of Technology) e a Força Aérea dos Estados Unidos para desenvolverem máquinas com comando numérico.
- 1952 - Demonstração no M.I.T. da viabilidade técnica do protótipo desenvolvido pelo convênio acima citado.
- 1953 - O sistema de programação do comando numérico é desenvolvido no M.I.T..

- 1956 - O M.I.T. desenvolve as bases da linguagem de programação de comandos numéricos através de computador.
- 1957 - Início da comercialização dos primeiros comandos numéricos nos Estados Unidos.
- 1957 - A ATA desenvolve a linguagem de programação de comandos numéricos A.P.T. (Automatically Programed Tool) para computadores IBM.
- 1958 - Padronização pela E.I.A. (Electronics Industries Association), do formato de entrada e saída de dados (norma RS 244).
- 1959 - Primeira máquina com trocador automático de ferramentas IBM - ENDICOTT (a Figura 2.10 a seguir mostra um moderno sistema de troca automática de ferramentas, KATO - 1994).

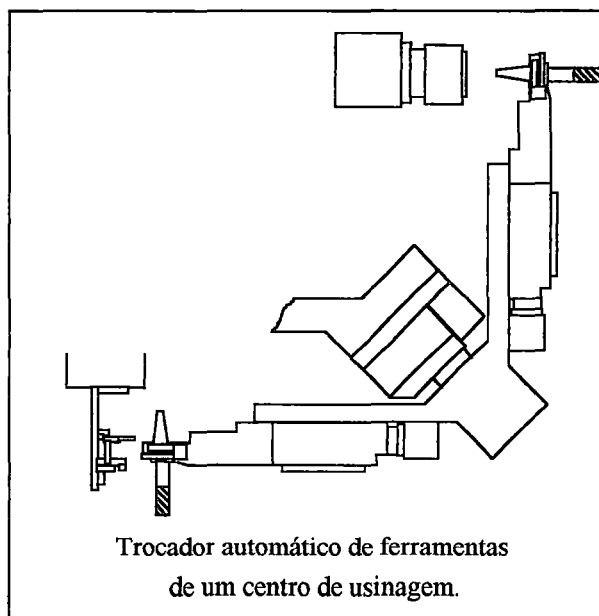


Figura 2.10 - sistema de troca automática de ferramentas (KATO,1994)

- 1961 - A E.I.A publica as normas RS 244 para padronização dos formatos de dados de entrada e saída, que resulta mais tarde no código A.S.C.I.I. (American Standard Code for Interchaging of Information).
- 1961 - Aparece a furadeira com posicionamento da mesa controlado por programa, notável por seu baixo preço.
- 1962 - A BENDIX desenvolve o camando adaptativo.

- 1967 - Aparecem notícias das primeiras aplicações de comandos numéricos no Brasil.
- 1970 - Surgem os primeiros comandos numéricos computadorizados (CNC).
- 1971 - Fabricação do primeiro torno com CN no Brasil pela indústria ROMI, que utilizava o comando SLO-SYN.
- 1977 - Aparecimento dos comandos numéricos computadorizados (CNC) utilizando a tecnologia dos microprocessadores.
- 1980 - Os sistemas flexíveis de fabricação (que utilizam máquinas CNC em larga escala) já são uma realidade.

### 2.3.2 - Taxonomia dos comandos numéricos

PORTO (1985), define comandos numéricos como:

"... um equipamento eletrônico capaz de receber informações através de entrada de dados própria, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando a máquina operatriz de modo que esta, sem intervenção do operador, realize as operações na forma programada".

De acordo com o seu emprego, os comandos numéricos podem ser divididos em duas classes (KOREN, 1983) - comando numérico ponto-a-ponto ou comando numérico de caminho contínuo. O comando numérico ponto-a-ponto pode ser exemplificado basicamente por uma furadeira NC, e sua principal característica é que enquanto os eixos X e Z movem-se para alcançar as coordenadas do ponto onde a ferramenta deve atuar, esta está suspensa, isto é: não atua - conforme mostra a Figura 2.11 (WIEN, 1984).

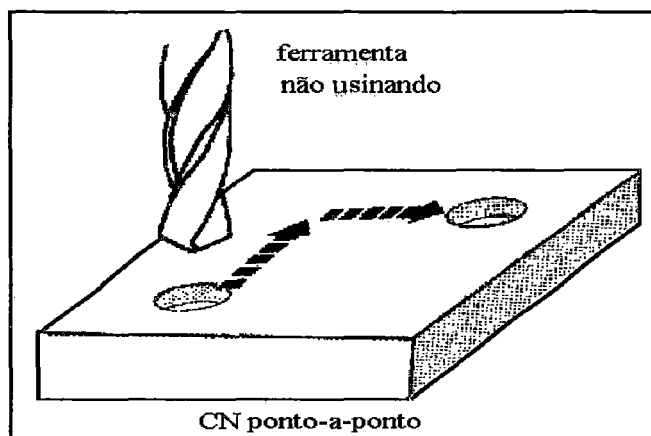


Figura 2.11 - CN ponto-a-ponto (WIEN, 1984)

Já os comandos numéricos de caminho contínuo são divididos em duas subclasses (WIEN, 1984):

- o comando numérico de percurso, onde há atuação da ferramenta durante o deslocamento da mesma entre um ponto e outro, porém somente em percursos paralelos aos dois eixos X e Z, conforme mostra a Figura 2.12 (WIEN, 1984):

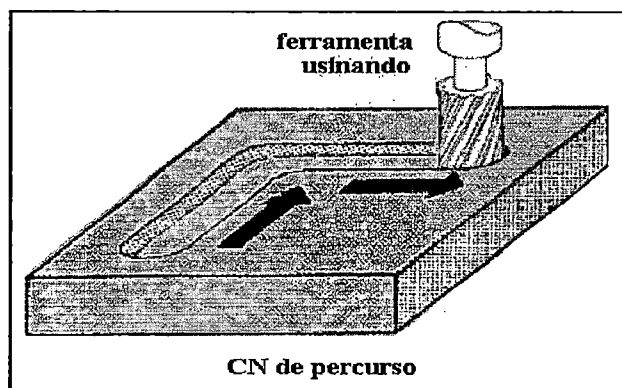


Figura 2.12 - CN de percurso (WIEN, 1984)

- e finalmente, o comando numérico de trajetória que possui os mesmos recursos do comando numérico de percurso, porém com a capacidade adicional de efetuar trajetórias mais complexas (Figura 2.13 - WIEN, 1984).

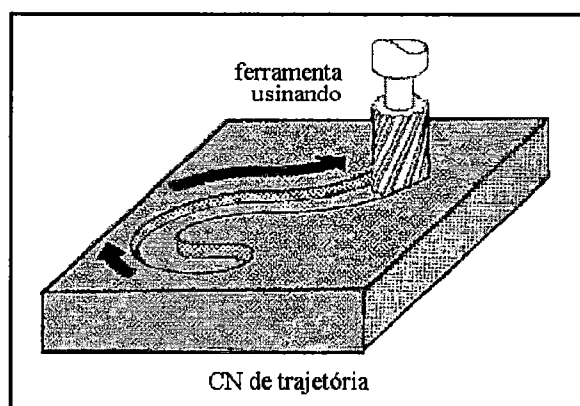


Figura 2.13 - CN de trajetória (WIEN, 1984)

Pode-se citar também os comandos numéricos adaptativos (CNA) e os comandos numéricos comandados por uma unidade central de computador (DNC). O comando numérico adaptativo, que apareceu por volta de 1962 (MACHADO - 1987) integra ao CN comum funções adaptativas, que permitem correção de variáveis que possam ser monitoradas continuamente

permitindo a correção das mesmas em tempo real quando necessário (as variáveis mais comumente monitoradas nos CNA's são velocidade de corte e de avanço, vibração, posicionamento, etc.). A Figura 2.14 ilustra o esquema do fluxo de ação de um CNA (MACHADO, 1987):

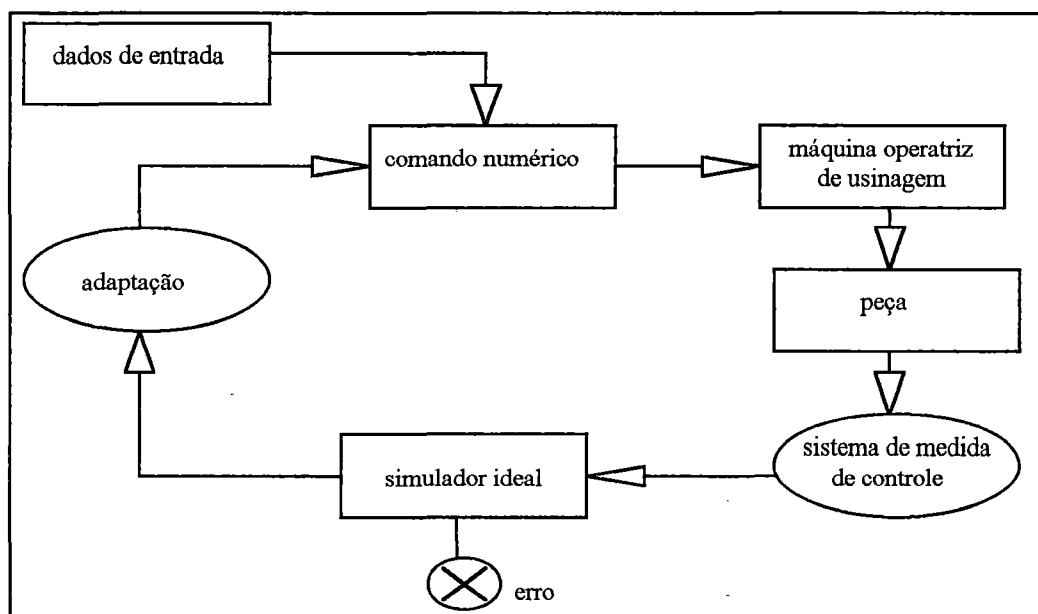


Figura 2.14 - fluxo de ação de um CNA (MACHADO, 1987)

Os DNC, também de acordo com MACHADO (1987) se subdividem em duas categorias:

- um tipo de comando numérico distribuído, que consiste de um conjunto de máquinas ferramenta dotadas de sistemas CN sem dispositivos de I/O interligadas á um arquivo central que recebe os programas e os distribui entre as diversas máquinas do sistema, que desta forma atuam como se estivessem lendo uma fita perfurada. Este sistema é superado e está em desuso; e
- outro tipo de comando numérico distribuído é o comando numérico direto, que é constituído por um computador central que além de receber e enviar todos os programas de usinagem das diversas máquinas que compõe o sistema, também atua no controle das mesmas, isto é: estas não são dotadas de comandos individuais. Este sistema é bastante complexo e somente recentemente, com o desenvolvimento da tecnologia da eletrônica e da informática tem sido viável sua implementação.



### 2.3.3 - Vantagens e recursos dos comandos numéricos

Conforme dito anteriormente, as pesquisas para desenvolvimento dos comandos numéricos foram estimuladas inicialmente pela indústria aeronáutica devido a sua necessidade de produção de uma grande variedade de peças com grande precisão, em lotes de pequenas quantidades e com grande velocidade para atendimento á demanda. No entanto, resumir todas as vantagens e recursos que os comandos numéricos põe a disposição dos projetistas e operadores nestes três ítems é de certa forma ocultar uma série de muitos outros benefícios apresentados pelos mesmos e que não ficam explícitos quando adota-se esta postura. PORTO (1985) faz uma análise deste assunto e ressalta as vantagens e desvantagens da utilização dos comandos numéricos e seus principais recursos:

#### *Recursos oferecidos pelos comandos numéricos :*

- troca automática de ferramentas, com possibilidade de compensação dos desgastes;
- realização de interpolações complexas em torneamento e fresamento, o que substitui a ação de um copiador;
- corte de roscas em tornos, o que substitui o uso de recâmbio e caixa de rosca;
- possibilidade de operar em milímetros ou polegadas;
- facilidades para fixar ponto de referência em qualquer coordenada, o que possibilita "zerar" a máquina a qualquer instante; e
- interface homem máquina bastante amigável, o que possibilita a troca de informações em tempo real, além de permitir ao operador acompanhar o "status" do processo a cada passo.

#### *Vantagens da utilização dos comandos numéricos:*

- maior versatilidade do processo devido a recursos tais como possibilidade de interpolação, troca de ferramentas e possibilidades de variação de velocidade e percurso das ferramentas;
- compactação do ciclo de usinagem: a realização de tarefas de usinagem que antes eram realizadas em varias máquinas em uma só, possibilita redução dos tempos de espera e de "set-up" da máquina,

menor movimento da peça e menor quantidade de dispositivos e ferramental;

- aumento da qualidade de serviço: isto devido á grande precisão dos sistemas eletrônicos de posicionamento e sua grande repetibilidade, maior controle sobre desgaste das ferramentas e possibilidade de correção destes desgastes, além de menor intervenção do operador no processo;
- possibilidade de modificações rápidas e de baixo custo no processo de usinagem quando da alteração do projeto das peças, sem perdas de ferramental ou dispositivos;
- uso racional das ferramentas, portanto com menor desgaste e possibilidades de utilização de um pequeno número destas;
- simplificação dos dispositivos utilizados, em comparação com aqueles utilizados em sistemas convencionais;
- redução dos refugos;
- maior segurança e redução da fadiga dos operadores, devido ao menor índice de intervenção dos mesmos no processo;
- possibilidade de rápido intercâmbio de informações entre os setores de planejamento e produção, pois quando executa-se a usinagem pela primeira vez, o programador participa da operação e caso haja necessidade de ajustes a serem realizados, estes serão feitos imediatamente e no próprio local;
- menor estoque de peças devido á rapidez de fabricação;
- facilidades de confecção de perfis simples e complexos sem a utilização de modelos;
- uso racional do arquivo de processos devido as facilidades para armazenar e localizar a documentação (processo de usinagem e o programa); e
- menor índice de utilização de mão de obra não qualificada.

No entanto, há que se frisar também que os comandos numéricos apresentam algumas desvantagens em relação aos sistemas convencionais de usinagem, e embora estas sejam bem menores que as vantagens oferecidas pelos mesmos, devem ser também ressaltadas e levadas em

consideração principalmente durante a fase de implantação de novos sistemas:

- o investimento inicial é bem mais alto;
- necessidade de uma equipe de manutenção altamente qualificada e com planos de manutenção preventiva;
- necessidade de um planejamento mais cuidadoso, envolvendo todos os parâmetros de usinagem;
- maiores exigências quanto as dimensões da matéria-prima;
- necessidade de aquisição de equipamentos periféricos tais como a leitora de fitas; e
- emprego de operadores mais qualificados com necessidade de treinamento e conhecimentos básicos (como trigonometria e programação, por exemplo).

#### **2.3.4 - Programação de comandos numéricos**

Um programa NC pode ser definido, de acordo com PORTO (1985) como

"...uma seqüência lógica de informações para a usinagem de uma peça. Esta seqüência deve ser escrita em códigos apropriados, de modo que o CN os interprete e emita os sinais apropriados à máquina para que esta execute a operação programada".

A programação de máquinas comandadas numericamente é realizada em uma linguagem comumente chamada de "Linguagem G", cujo nome é derivado do fato de que as instruções dadas à máquina virem precedidas da letra G, indicando ao sistema ser este dado uma instrução de programação, e é normatizada pela norma DIN 66025 (TRAUBOMATIC, 1993).

Estas informações de programa eram transmitidas a máquina através de um código binário em uma fita perfurada. Este código era escrito em 8 "bits" e existiam 2 padrões: o Padrão da I.S.O. (International Standards Organization) e o padrão da E.I.A. (Electronics Industries Association). No entanto, com o desenvolvimento das tecnologias de eletrônica e de informática novos equipamentos de entrada e saída de dados mais eficientes foram colocados à disposição dos operadores, praticamente eliminando as fitas perfuradas.

Os programas CN são compostos de blocos, sendo cada bloco uma linha de programação que deve conter as seguintes informações: o número do bloco, a tarefa a ser executada, quais as coordenadas em que esta tarefa deve ser executada e finalmente, como esta tarefa deve ser executada. A sintaxe de um bloco é comentada a seguir:

**N 113 G 90 T 0101 M 03**

**N 114 G 01 X 100 Z 220 F 8 S 44**

- primeiro campo: N \_\_\_\_ - sua função é numerar seqüencialmente os blocos de programa, sendo que seu valor pode variar de 0000 até 9.999, por exemplo.
- segundo campo: G \_\_ - as funções "G" são as funções preparatórias, e têm a função de preparar a máquina para a usinagem (definem o tipo de interpolação, unidade de medida - mm ou polegadas, etc).
- terceiro campo: T \_\_\_\_ - os dois primeiros dígitos especificam qual a ferramenta que deve ser utilizada na operação de usinagem, e os dois últimos especificam qual o "preset" de ferramenta considerado.
- quarto campo: M \_\_ - comumente chamada "função de miscelânea". Algumas são padronizadas pela norma ISO 6983, no entanto a maioria é programada pelo projetista do sistema de intertravamento (por exemplo, M03 é padronizada e define o sentido horário para giro do eixo-árvore).
- quinto campo : X \_\_ Z \_\_ - indica ao comando numérico que ele deve fazer a ferramenta deslocar-se da posição em que se encontra até encontrar estas coordenadas sob as condições especificadas pela função G (o tipo de interpolação, unidade de medida, etc).
- sexto campo F \_\_ - define qual deve ser a velocidade de avanço da ferramenta na usinagem.
- sétimo campo S \_\_ - define qual deve ser a rotação do eixo-árvore nesta operação de usinagem.

**OBS:** cada bloco de comando poderá conter ou não qualquer uma das funções de cada um dos tipos acima especificados, com alguma diferença entre os diversos fabricantes.

### 2.3.5 - Tendências no desenvolvimento dos comandos numéricos

A utilização de máquinas ferramenta com comando numérico computadorizado é uma tendência mundialmente verificada e irreversível, pois os ganhos em qualidade e produtividade obtidos com as mesmas cobrem rapidamente os investimentos de capital necessários à aquisição de tais equipamentos, conforme afirmam PROKOPENKO e FEDOTOV (1989):

"...o principal caminho para melhoria da eficiência de engenharia de manufatura é a adoção de automação inteligente, especialmente com o uso de centros de usinagem, que garantem o máximo grau de flexibilidade".

Em seu trabalho publicado sobre as tendências de utilização de equipamentos numericamente controlados, eles apontam também quais seriam as principais tendências para um futuro próximo no que diz respeito ao emprego de equipamentos numericamente controlados em manufatura (especialmente em ambientes flexíveis):

- por volta do ano 2000, somente 8 a 10 % das máquinas instaladas (equipamentos de usinagem) serão de linhas inflexíveis;
- grande emprego de integração do ambiente de manufatura em redes de computadores;
- uso intensivo de sistemas automáticos de troca/manuseio de peças e ferramentas;
- maior diversificação dos tipos de máquinas disponíveis;
- emprego de técnicas de tecnologia de grupo no projeto e construção de máquinas NC;
- introdução de novos materiais para construção de máquinas e ferramentas;
- compensação automática de desgaste das ferramentas e da deformação térmica, com melhorias também nos sistemas de refrigeração;
- melhoria da acuracidade dos drives dos motores;
- posicionamento ópto-eletrônico;

- desenvolvimento de sistemas do tipo MFFS (Monitoring and Fault Finding System), e EPS (Emergency Protection System).
- operações automatizadas de remoção e quebra de cavacos com equipamentos de lavagem e secagem automática da peça usinada.
- diminuição dos custos dos produtos. Sob este enfoque, OSHIRO (1993) apresenta um protótipo de um sistema CNC/PLC integrados em um único processador Motorola 68000 de 32 "bits" com recursos para posterior integração em ambientes de manufatura flexível, e TRONCO (1993) apresenta um sistema automatizado de coleta e armazenamento de "pallets" baseado em um microcomputador IBM-PC.

## 2.4 - Controladores Lógicos Programáveis

O Controlador Lógico Programável (CLP - ou PLC, do inglês Programmable Logic Controller - ilustrado na figura 2.15) é um computador dedicado que opera ciclicamente em regime de loop contínuo. Ele realiza a varredura das entradas, verifica os comandos a serem executados seguindo as instruções do programa de usinagem e, de acordo com a lógica do Intertravamento armazenado permite ou não a execução dos mesmos, atuando sobre as saídas do sistema.

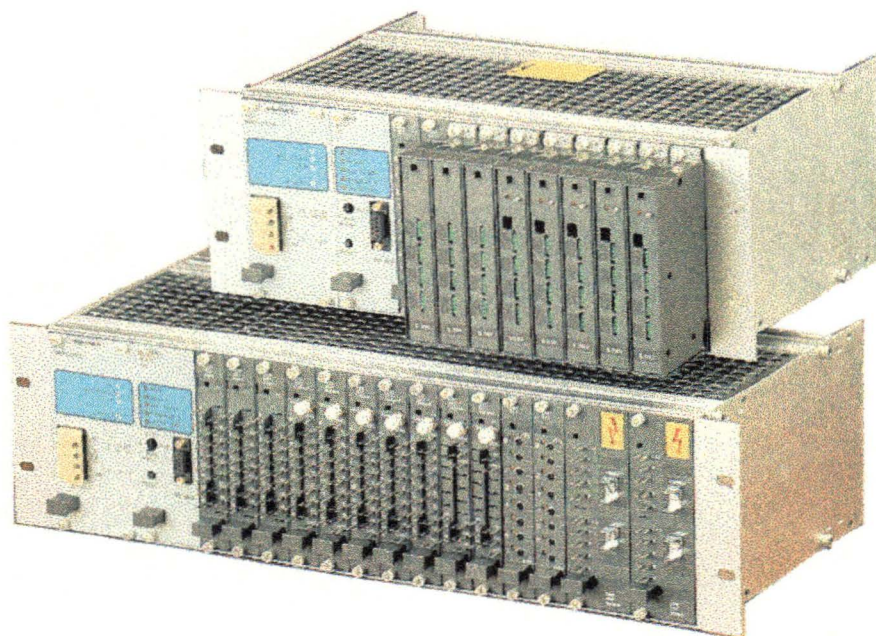


figura 2.15 - PLC comercializado pela KLOCKNER-MOELLER

Segundo GROOVER e ZIMMERS (1984), os Controladores Programáveis são definidos pela NEMA (National Electrical Manufacturers Association) na norma ICS3-1978 da seguinte maneira:

" Um equipamento eletrônico operando digitalmente que utilize uma memória programável de armazenamento de instruções para implementação de funções do tipo lógicas, aritméticas, de sequenciamento, e de temporização para controle de vários tipos de máquinas ou processos através de módulos e entrada e saída analógicos e/ou digitais."

De acordo com MIYAGI (1993), os PLC's surgiram no final da década de 60, quando a General Motors diagnosticou que os sistemas eletromecânicos de relés utilizados em sistemas de controle de suas linhas de produção haviam tornado-se extremamente grandes e complexos, trazendo enormes dificuldades tanto para sua configuração quando do lançamento de um novo produto quanto para as equipes de manutenção quando da ocorrência de algum tipo de falha. A GM encomendou então aos fabricantes de sistemas eletrônicos um dispositivo capaz de substituí-los que apresentasse a necessária flexibilidade e confiabilidade que o sistema exigia e cujos requisitos são resumidos na Tabela 2.1 a seguir.

Desde então, eles têm sido utilizados em uma larga gama de aplicações e produzidos por uma grande variedade de fabricantes no mundo todo, tendo sua comercialização atingido a cifra de mais de 4 bilhões de dólares (NASCIMENTO, 1994) no ano de 1993.

**Tabela 2.1 - requisitos para desenvolvimento dos PLC's (MIYAGI, 1993)**

<b>1</b>	Deve ser fácil de programar
<b>2</b>	Deve ser de fácil manutenção
<b>3</b>	Deve possuir características operacionais de grande confiabilidade
<b>4</b>	Deve possuir dimensões menores que os painéis de relés
<b>5</b>	Deve ter capacidade de comunicar-se com um sistema central
<b>6</b>	Deve ter preço competitivo em relação aos painéis de relés
<b>7</b>	Deve ter capacidade de receber sinais de entrada de 115 V C.A.
<b>8</b>	Deve ter capacidade de enviar sinais de saída de 115 V C.A. e 2 A
<b>9</b>	Deve apresentar facilidades para futuras expansões
<b>10</b>	Cada unidade deve possibilitar a expansão de no mínimo 4000 palavras na memória do programa

A variedade das aplicações dos controladores programáveis é muito grande sendo os mesmos empregados em sistemas de controle de máquinas em indústrias dos mais variados tipos, tais como indústrias de processo contínuo, montadoras, de transformação, aciarias, mineração, laminação (OLIVEIRA,1993) ou ainda em máquinas de transferência, sistemas transportadores industriais, processos de injeção, soldagem, processamento de alimentos, gerenciamento de distribuição de energia (GROOVER, 1987) e muitas outras aplicações. Nestes ambientes, o controlador programável substitui a ação do homem como sistema de controle.

#### 2.4.1 - Componentes dos PLC's

Os controladores programáveis (que são computadores dedicados) têm uma estrutura modular que pode ser representada pela Figura 2.16 a seguir.

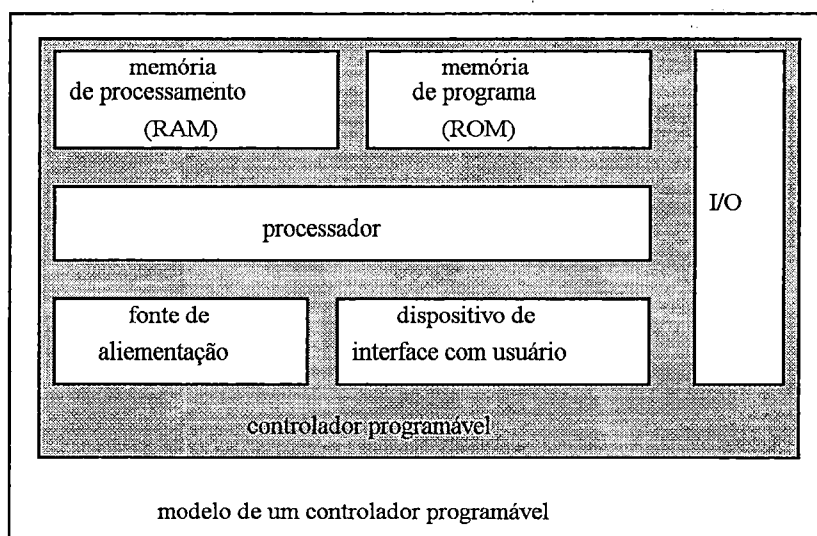


Figura 2.16 - arquitetura de um PLC

Onde cada um dos módulos do sistema tem a seguinte função:

- memória de processamento: serve para o processador armazenar os estados das entradas do sistema para posterior processamento e os resultados parciais do processamento do programa de controle;
- memória de programa: onde o usuário armazena o programa de controle do sistema (o programa de intertravamento);



- processador: realiza o processamento do programa de controle;
- dispositivo de interface: onde o programa de controle é editado. Em equipamentos mais sofisticados, é possível também a realização de testes e "debug's" do mesmo;
- módulos de I/O: caminho por onde o PLC lê as variáveis do sistema de controle para processamento do programa e atua sobre o sistema após a computação do mesmo; e
- fonte de alimentação: fornece energia elétrica para o sistema nas diversas especificações de tensão e frequência necessárias.

#### **2.4.2 - Tendências de evolução dos PLC's**

Luiz Nascimento, gerente de produtos da Maxitec (NASCIMENTO, 1994) aborda em um estudo as principais tendências de desenvolvimento dos PLC's, tanto no que diz respeito ao mercado quanto ao desenvolvimento dos mesmos para a segunda metade dos anos 90, e aponta como principais tendências:

- aumento da demanda: causada pela crescente globalização da economia mundial, com grande crescimento da demanda principalmente nos países de economia emergente, ressaltando que a Siemens obteve um crescimento de 30% na comercialização destes produtos somente em países fora da Europa;
- "downsizing": devido à globalização da economia mundial, as novas fábricas obedecem a uma filosofia de maior agilidade e modularidade. Assim estas novas fábricas assumem mais funções locais e maior autonomia, o que exige que seus equipamentos apresentem menor preço e mais qualificação, com concepções modulares que facilitem a manutenção e até mesmo a substituição de unidades problemáticas com a rapidez necessária. O maior número de fábricas implica que estas serão cada vez menores, com menor produção e assim, os novos controladores serão cada vez menores e mais flexíveis;
- redução de custos: pelos mesmos motivos acima citados, os fabricantes tendem a produzir produtos cada vez mais baratos e acessíveis a clientes de menor porte; e
- flexibilidade: devido as transformações no mercado causadas principalmente pela globalização da economia mundial, que vem aumentando a competitividade entre as indústrias, estas necessitam de equipamentos cada vez mais ágeis capazes de responder com

grande velocidade aos movimentos dos concorrentes e aos anseios do mercado.

### **2.4.3 - Vantagens da utilização de PLC's**

Muitas são as vantagens da utilização dos controladores programáveis no lugar dos sistemas eletromecânicos de relés, sendo algumas das principais:

- facilidades de manutenção: os PLC's apresentam grandes facilidades para manutenção devido á sua estrutura modular, padronização e menor número de componentes;
- facilidade de modificações na programação: a programação por "software" é muito mais simples que a programação por fiação dos circuitos eletromecânicos de relés, e pode algumas vezes ser realizada em poucos minutos;
- redução no espaço físico ocupado;
- menor gasto de energia: os circuitos integrados que compõe os PLC's consomem muito menos energia que os circuitos eletromecânicos implementados em "hardware";
- maior confiabilidade: devido a menor quantidade de componentes e de ligações, os circuitos integrados são mais confiáveis que os circuitos discretos do sistema eletromecânico de relés; e
- facilidades de interfaceamento com outros sistemas de controle ou com uma rede de computadores, devido a possibilidade de utilização de protocolos de comunicação padronizados internacionalmente.

### **2.4.4 - Programação de PLC's**

Desde antes do aparecimento da tecnologia dos controladores programáveis, os componentes eletromecânicos já eram utilizados para controle industrial, e a forma de representação dos circuitos de controle era conhecida como lógica ou diagrama de contatos - também chamados de diagramas "LADDER". Com o desenvolvimento tecnológico e o aparecimento dos semicondutores surgiram os primeiros controladores programáveis (por volta de 1969, segundo HOLLO, 1985) que logo

adotaram esta forma de representação para programação, sendo que novas funções mais complexas foram adicionadas ao seu conjunto de instruções.

No entanto, com o aumento das capacidades e habilidades dos PLC's esta forma de representação logo começa a mostrar-se incapaz de cobrir todas as necessidades dos programadores, mesmo com este novo conjunto de funções enriquecido; e surgem então outras formas de representação, como por exemplo a programação em listas de instruções.

Apesar de terem surgido inicialmente nos E.U.A., os controladores programáveis logo se espalharam pelo mundo, com os fabricantes dos diversos países tentando impor cada um o seu próprio padrão (caso principalmente dos alemães com o diagrama de blocos de funções, os franceses com o "GRAFICET" e os americanos com o "LADDER"). Diante deste quadro de falta de um padrão universal de linguagem de programação, os usuários passam a pressionar os fabricantes a procurarem um padrão que permitisse a comunicação entre equipamentos dos diversos modelos disponíveis no mercado, e foi então que o grupo de trabalho 6 da International Electromechanical Commission's Technical Committee, propôs uma forma de padronização das linguagens de programação para PLC's. Este padrão possui uma estrutura hierárquica com a seguinte composição (HOLLO, 1985):

- uma linguagem primária denominada SFC (Sequential Function Chart), que é derivada diretamente do "GRAFICET" francês. Segundo SLAETS (1994), o "GRAFICET" é um diagrama funcional cujo objetivo é de descrever graficamente os diversos comportamentos de um automatismo sequencial.
- quatro outras linguagens secundárias: o diagrama de contatos (LADDER); diagrama de blocos de funções (FB -Functions Blocks); a lista de instruções (ST - Statement List, que é muito semelhante ao "assembly"); e a matemática (MATH), derivada de compiladores de linguagens computacionais.

#### **2.4.4.1 - Uma ferramenta para programação de PLC: o pacote TP 888 da SIMATIC**

O TP 888 é um pacote de "software" desenvolvido pela SIMATIC, uma subsidiária da Siemens alemã para interface do usuário com os produtos de automação industrial da família SIMATIC S5. Este "software" trabalha sobre

o sistema operacional CP/M e transforma um computador pessoal em um terminal de programação, permitindo ao operador a programação, edição e testes on line de programas de automação, sendo que os programas que aqui são desenvolvidos utilizam-se de uma linguagem de programação denominada STEP 5.

O TP 888 tem a finalidade de realizar o interfaceamento do programador do PLC com o sistema operacional. Esta interação do programador com o CP/M é feita utilizando-se de um teclado customizado e um conjunto de menus, onde o programador geralmente apertando apenas uma tecla pode passar ao sistema operacional um comando complexo. O significado desta tecla customizada é "traduzido" pelo TP 888, que envia ao CP/M os comandos num formato que ele pode entender, e desta forma, desobriga o programador da necessidade de possuir conhecimentos mais profundos do sistema operacional CP/M.

O pacote TP 888 possui uma constituição modular e hierárquica onde os diversos módulos interagem entre si constantemente de acordo com as necessidades do usuário. A Figura 2.17 a seguir ilustra estrutura do pacote TP 888, dando uma idéia da hierarquia entre seus módulos (STEP 5: Manual - Vol 1-2, 1987).

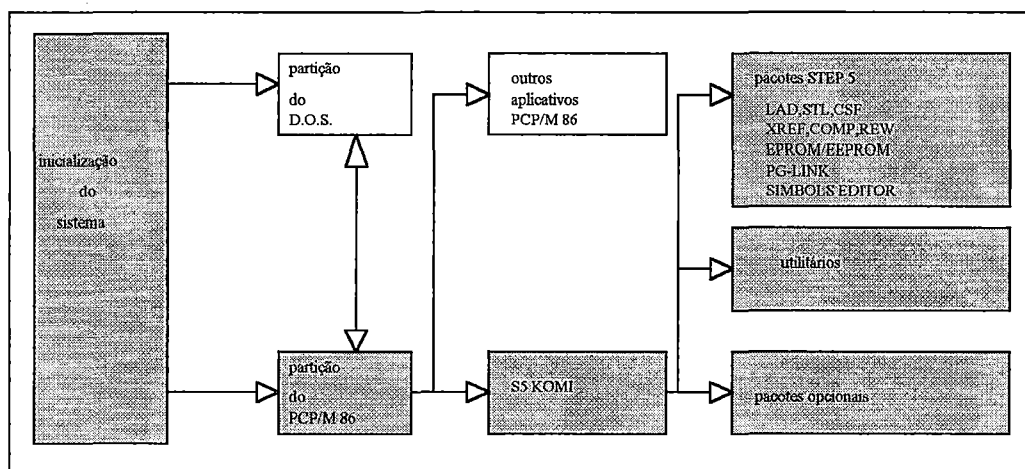


Figura 2.17 - pacote TP 888 (STEP 5: Manual - Vol 1-2, 1987)

#### 2.4.4.2 - Métodos de programação de PLC's

Três dos principais métodos de programação de PLC's são os modos gráficos LAD e CSF e o módulo STL.

O módulo gráfico LAD ou diagrama de contatos é a forma mais utilizada nos Estados Unidos, sendo uma evolução da representação de ligações de circuitos de comandos utilizados desde antes do domínio da tecnologia de componentes de estados sólido, quando os sistemas de controle eram ainda do tipo implementados em "hardware" (não programáveis), tendo sido a linguagem de programação que tornou-se padrão nos primeiros controladores programáveis que surgiram (HOLLO, 1985), e é normatizado pela norma DIN 19239.

O método CSF (Control System Flowchart), também conhecido como linguagem de blocos de funções é bastante semelhante aos diagramas booleanos de circuitos eletrônicos, normatizado pelas normas DIN 40700,40719,19239 e IEC 117-15, é o método mais difundido entre os europeus, principalmente na Alemanha.

O terceiro método de programação é o STL (Statement List) ou lista de instruções, e surgiu principalmente devido à grande evolução tecnológica experimentada pelos controladores programáveis e exigida pelos usuários. É uma forma de programação não gráfica mas que coloca à disposição do programador recursos mais poderosos e mais avançados, permitindo a implementação de sistemas bem mais complexos.

A seguir os três métodos para programação citados anteriormente são apresentados:

- "LADDER" - a Figura 2.18 a seguir, mostra uma pequena seqüência lógica de comandos: no primeiro segmento é feita uma associação lógica AND das entradas I 1.0 e I 1.1 com o "flag" F 2.5, sendo o resultado atribuído ao "flag" F 10.3. No segundo segmento é feita uma associação lógica OR da entrada I 2.7 com o "flag" F 3.6, sendo que o resultado desta entra numa associação AND com o "flag" F 110.3 e a saída Q 3.2. O resultado final é atribuído à saída Q 0.0:

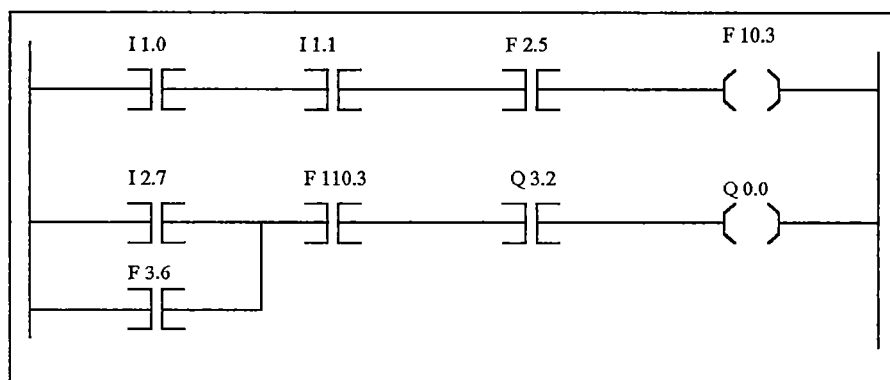


Figura 2.18 - programação LADDER

- CSF - na Figura 2.19 a seguir, uma seqüência lógica de comandos ilustra o método de representação CSF: no primeiro segmento é feita uma associação lógica OR da entrada I1.0 com o "flag" F 3.4, sendo o resultado atribuído ao "flag" F 90.0. No segundo segmento é feita uma associação lógica AND do "flag" F 120.5 com a entrada I 5.0 e a saída Q3.3, sendo o resultado final atribuído á saída Q 2.0. O resultado final é uma associação lógica AND do "flag" F 90.0 com a saída Q 2.0, e é atribuído á saída Q 3.6:

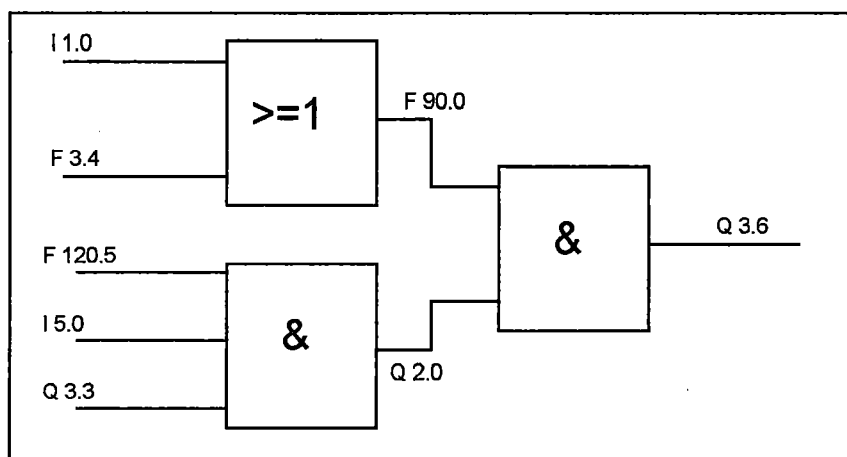


Figura 2.19 - programação CSF

- STL - a seguir a Figura 2.20 mostra mais uma pequena seqüência lógica de comandos, desta vez para ilustrar o método de representação STL: será feita uma associação lógica AND da entrada I 0.0 com o "flag" F 123.4, sendo o resultado atribuído á saída Q 2.0. No segundo segmento é feita uma associação lógica OR do "flag" F 110.2 com o "flag" F 49.6, e este resultado parcial entra em uma associação lógica And com a entrada I 4.5. O resultado final é atribuído ao "flag" F 250.5:

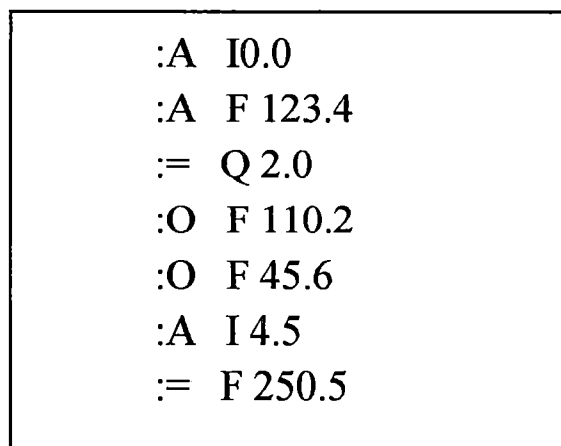


Figura 2.20 - programação STL

### 2.4.4.3 - A estrutura de programa de um PLC

A linguagem de programação para PLC's tem uma estrutura modular que permite ao usuário o desenvolvimento de "softwares" completamente estruturados, o que trás algumas vantagens consigo:

- programação simples e clara, tornando facilmente inteligíveis os mais extensos e complexos programas;
- possibilidade de padronização de seções do programa, construindo módulos que podem ser chamados diversas vezes de diversos locais pelo programa principal;
- visão clara da organização do programa;
- facilidades de "upgrades" ; e
- facilidades de testes e depuração.

O funcionamento do sistema (Figura 2.21 a seguir (MAXITEC - b)), pode ser descrito da seguinte maneira: após a inicialização do mesmo é carregado o programa cíclico OB1 (Organization Block 1), que basicamente tem a função de gerenciar o programa do usuário, dizendo ao processador quais os módulos devem ser executados e em que seqüência.

O OB1 realiza então chamadas incondicionais ou condicionais á outros módulos do programa do usuário, sendo que estes outros módulos podem ser chamados várias vezes por OB1 ou ainda por outro módulo qualquer em um nível inferior de encadeamento (são permitidos até 23 níveis de encadeamento no caso dos produtos da MAXITEC).

A execução de um módulo de um nível inferior de encadeamento é feita como uma subrotina: o módulo é chamado e suas instruções executadas seqüencialmente, até que ao encontrar a instrução final, o processador retorna ao bloco do nível de encadeamento superior que o chamou. Conforme dito anteriormente, a execução do OB1 é realizada de maneira cíclica, isto é: após encontrar a última instrução do bloco o processador executa uma chamada incondicional para a primeira instrução novamente, repetindo este processo até que o sistema seja desligado ou encontre alguma falha.

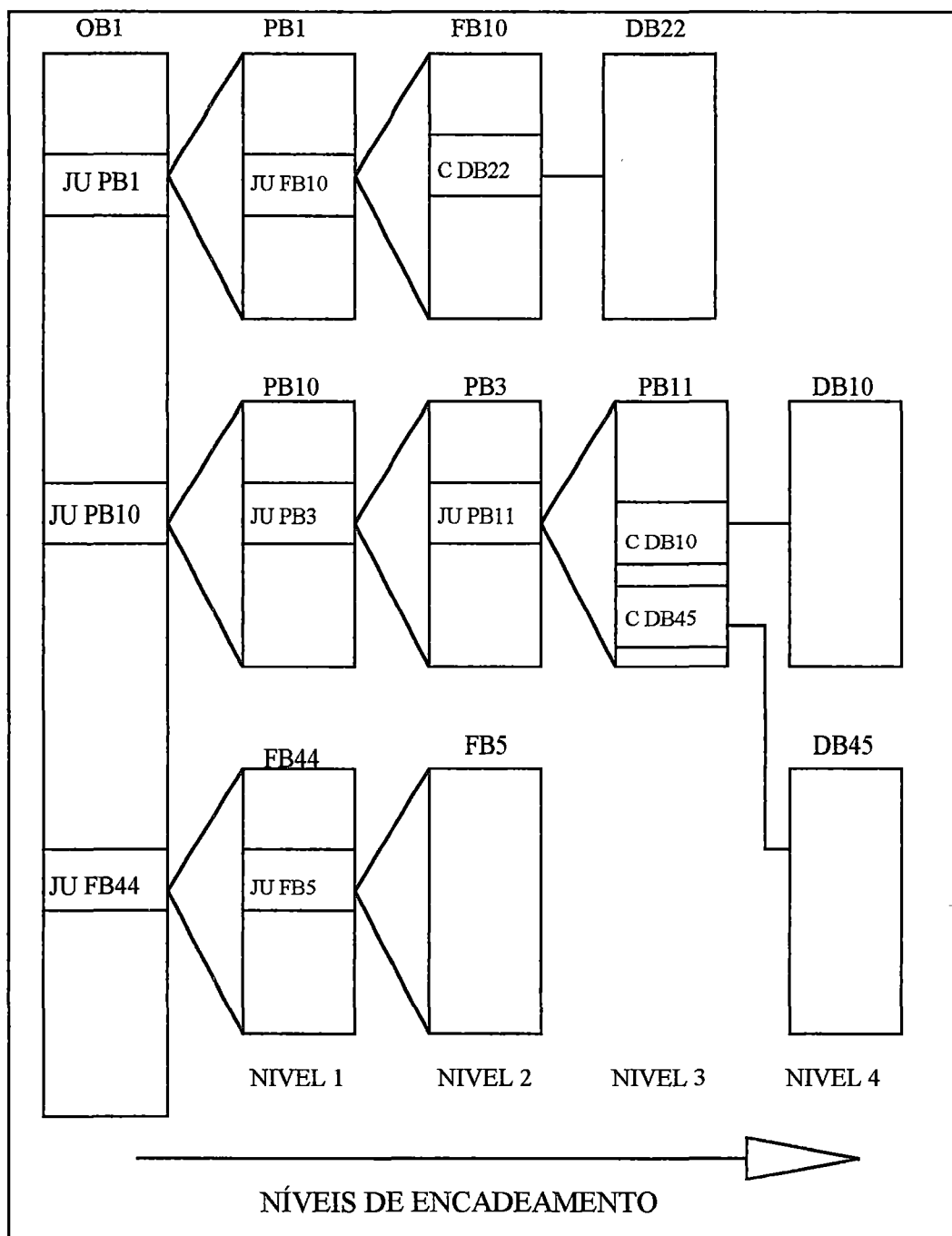


Figura 2.21 - estrutura modular de um programa STEP 5 (MAXITEC - b)

## 2.5 - Técnicas de análise de riscos

Métodos de análise qualitativa de riscos basicamente são variações da norma militar americana MIL STD 882 - System Safety Program Requirements, de 1984 (GRUHN,1991) onde os riscos são medidos em termos da probabilidade de ocorrência do evento. A principal vantagem de métodos de análise qualitativa é a sua simplicidade, o que permite uma



aprendizagem rápida, além da rapidez com que podem ser levados a cabo. Uma desvantagem, no entanto, é que são quase que totalmente apoiados na experiência de quem realiza a análise, o que exige um profissional experiente - e experiência só se adquire após um razoável período de aprendizagem e muitas tentativas fracassadas. PORTO (1990) ressalta algumas desvantagens de métodos baseados na experiência de analistas e/ou projetistas:

"A experiência requer um período de tempo significativo para ser acumulada; representa o conhecimento de uma maneira não exata, apenas aproximada; não pode ser diretamente aplicada á novos processos e sistemas, e finalmente, resta uma grande dependência da organização para com o profissional, pois é ele o portador da experiência."

Porém, faz a ressalva de que estes métodos apresentam como vantagens sua grande flexibilidade e seus baixos custos, sendo que suas desvantagens somente aparecerão em sistemas mais complexos.

Já os métodos de análise quantitativa de riscos são uma tentativa de combinar o "hardware" de controle e monitoramento (o intertravamento) do sistema com o nível de segurança almejado para o mesmo e com a frequência estimada de falhas dos seus diversos equipamentos sobre controle sob um ponto de vista numérico e formal.

A importância da quantificação numérica de um fenômeno é ressaltada por Lord Kelvin, (GRUHN - 1991):

"Se você não pode medi-lo, se você não pode expressá-lo em números, então seus conhecimentos são de um tipo superficial e insatisfatório".

Os métodos de análise quantitativa tem a vantagem de expressar seus resultados de uma forma menos subjetiva e menos dependente do analista que os métodos qualitativos - no entanto é importante frisar que ainda há uma forte dependência do analista, pois a qualidade dos resultados obtidos está intimamente ligada à fidelidade que o modelo considerado apresentará em relação ao mundo real (além de exigirem um esforço físico e mental bem maior do analista).

Uma boa estratégia de análise seria uma combinação dos dois métodos disponíveis, procurando aliar as vantagens comparativas de cada um deles de acordo com a natureza do projeto e os níveis de riscos envolvidos.

De forma a auxiliar na fase de análise de riscos de um projeto - que deve ser realizada previamente ao projeto do sistema de intertravamento, para que possam servir de subsídios para as fases posteriores, existem alguns métodos já testados e aplicados muitas vezes com resultados comprovados que auxiliam bastante a vida dos engenheiros, projetistas e analistas nesta fase do projeto, tais como:

- **Hazop (Hazard and operability analisys )** - um método largamente empregado principalmente pela indústria química e petrolífera de forma a fornecer as diretrizes a serem seguidas na identificação de riscos potenciais de acidentes (hazards) ou falhas operacionais (decorrentes da falta de habilidade ou distração do operador) a que estão sujeitos os diversos componentes do sistema. Consiste basicamente na formação de uma equipe multi-especialista de profissionais de diferentes habilitações profissionais envolvidos com o projeto e/ou operação do sistema. Esta equipe deve realizar uma série de reuniões ("brain-storms") onde cada membro procurará identificar os problemas que virtualmente possam vir a ocorrer (baseados nas respostas a uma série de perguntas-guias tais como quando, onde, porque, quanto, como etc), e então debater com os outros componentes do grupo as dimensões das consequências de tal evento, e as reais necessidades de instalação de dispositivos para prevenção dos mesmos.
  
- **Hazan (Hazard analisys)** - uma técnica onde, partindo-se de um estudo prévio de "Hazop" realizado para o projeto em questão, com o apoio de dados estatísticos a respeito do histórico das instalações do mesmo e de Tabelas fornecidas por entidades responsáveis pela edição de normas e procedimentos técnicos e industriais, os projetistas dos sistemas de intertravamento classificam quantitativamente nível de proteção a que devem ser submetidos os diversos componentes e subsistemas das instalações de acordo com os níveis de riscos a que estarão sujeitos e as consequências que eventuais acidentes poderão implicar para os operadores, os equipamentos e mesmo para o meio-ambiente e para a comunidade que interage com o sistema.

O fluxograma a seguir (Figura 2.22) ilustra de maneira bastante simplificada e facilmente inteligível, o processo de realização de uma

análise e determinação dos níveis de riscos de um projeto (FREEMAN - 1989):

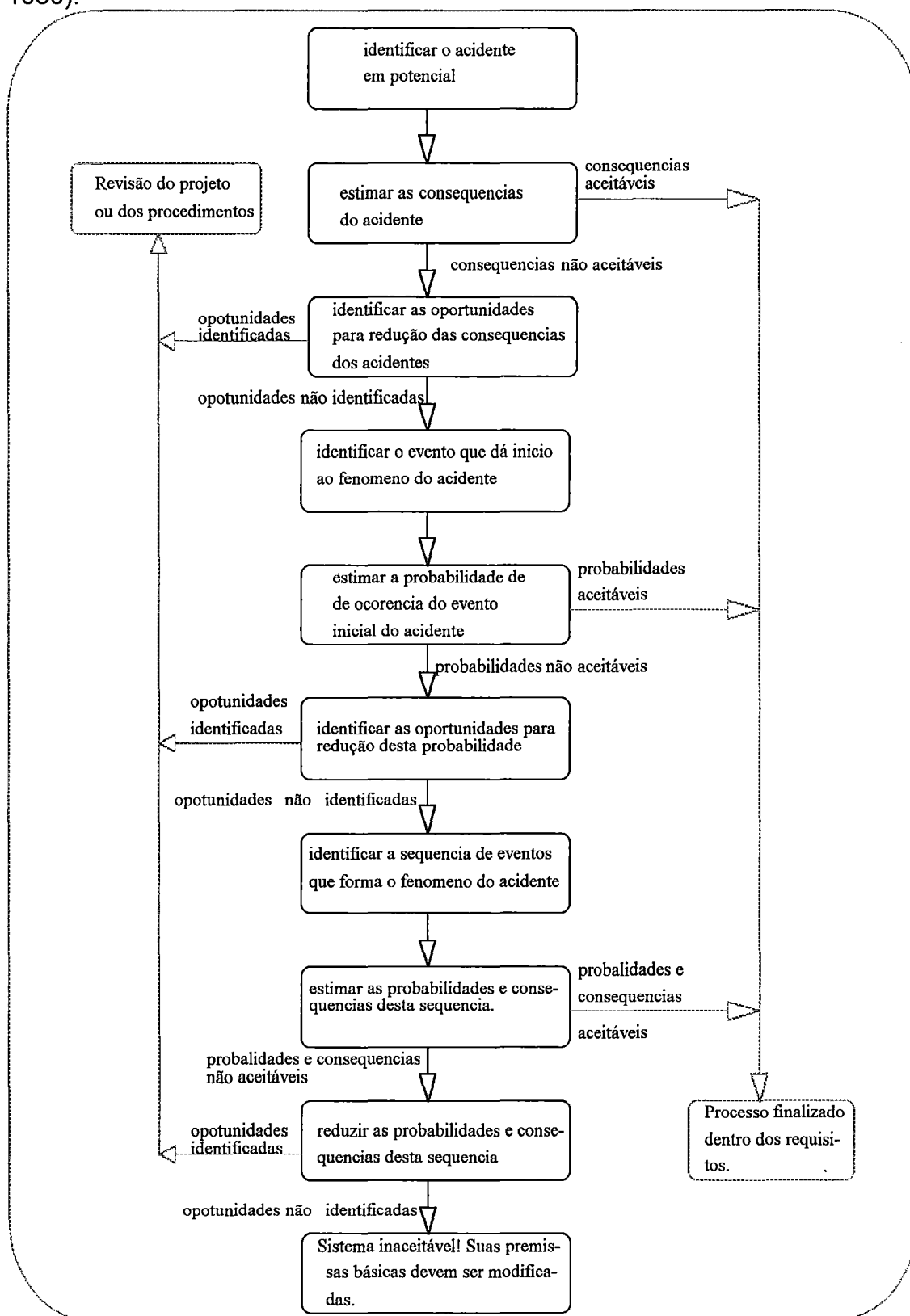


Figura 2.22 - fluxograma para um estudo de riscos (FREEMAN -1989)

## **2.6 - Redes de Petri**

Segundo MURATA (1989), as Redes de Petri são uma ferramenta de modelagem gráfica e matemática proposta por Carl Adam Petri em uma dissertação submetida á Faculdade de Física e Matemática da Universidade Técnica de Darmstadt, na Alemanha Ocidental em 1962.

CECIL et al. (1991) ressaltam a utilidade das Redes de Petri para modelagem e simulação de sistemas de manufatura:

" Redes de Petri têm sido amplamente aplicadas em modelagem, análise e controle de sistemas discretos de manufatura. A capacidade das Redes de Petri para modelar interações concorrentes e assíncronas dentro de um sistema de manufatura tem contribuído para seu desenvolvimento como uma poderosa ferramenta de modelagem. As Redes de Petri descrevem o sistema graficamente, e isto contribui para o entendimento das complexas interações internas do sistema. "

O crescente emprego das Redes de Petri em modelagem de sistemas de manufatura em parte se deve a algumas de suas características que favorecem este tipo de aplicação:

- possibilidade de modelagem de sistemas em níveis inferiores àqueles permitidos por outras ferramentas;
- os sistemas podem ser representados em vários níveis de abstração usando a mesma linguagem descritiva (REISING, 1982). Estes níveis de abstração podem variar desde um "bit" de memória de computador até complexas redes computacionais;
- sendo uma ferramenta de modelagem gráfica e matemática, permite que usuários que utilizam-na de uma forma mais teórica interajam com os usuários que prefiram sua utilização como uma ferramenta de modelagem gráfica, o que permite que ambos troquem entre si informações e não fiquem limitados no enfoque dado ao problema (MURATA, 1989); e
- a representação em rede permite a verificação das propriedades do sistema e apresentação de rotinas de correção utilizando-se de teoria de redes, já bem consolidada (REISING, 1982)

### **2.6.1 - Componentes de uma rede de Petri**

MURATA (1989) descreve as Redes de Petri como um grafo bipartite direcionado cujos principais componentes são os places (estados), as transições (ações), as fichas (recursos do sistema) e os arcos direcionados.

que unem os places às transições. Uma transição (que representa uma ação), será executada quando todos os estados que nela chegam estiverem ativados (contendo fichas), sendo que então serão ativados todos os estados que dela saem e desativados os que nela chegam. A Figura 2.23 a seguir ilustra uma Rede de Petri (ANACLETO, 1991) :

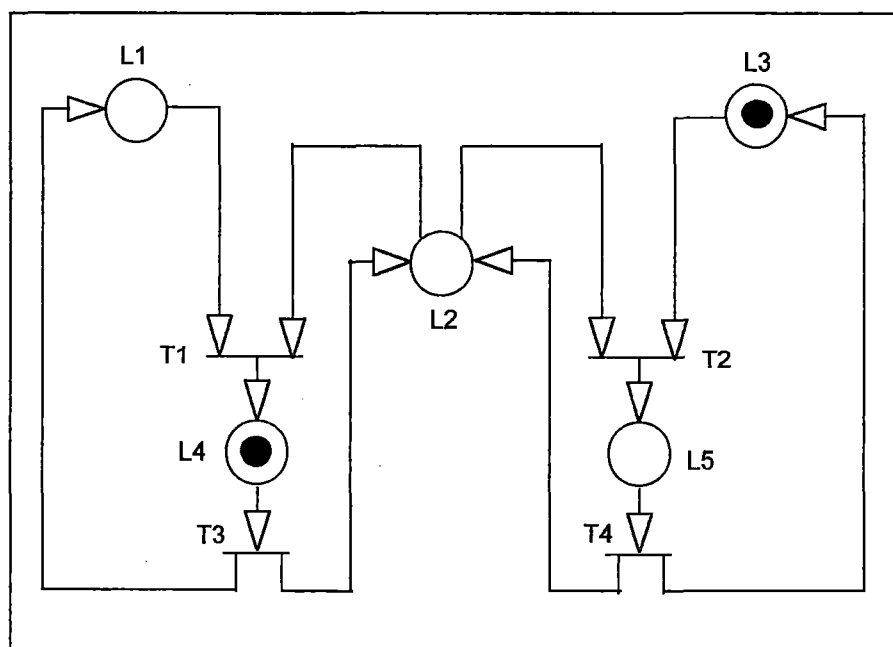


Figura 2.23 - exemplo de uma rede de Petri (ANACLETO, 1991)

Cada um dos elementos de uma Rede de Petri é definido da seguinte maneira (CECIL et al., 1991):

- "places": representados graficamente por círculos, têm a função de elementos passivos no sistema (recursos), e armazenam "itens" (fichas). A ativação de cada "place" corresponde á um estado possível do sistema.
- transições: representadas graficamente por barras ou retângulos, são os elementos ativos da rede (executam ações), e podem produzir, transportar ou consumir fichas dos places.
- fichas: é o elemento que indica que determinados estados estão ativados. Uma transição será executada se existir no mínimo uma ficha em cada um de seus estados precedentes, e os arcos orientados indicam o fluxo destas fichas.

## 2.6.2 - Tipos de redes de Petri

As Redes de Petri apresentam uma série de variações (chamadas extensões) que permitem diferentes enfoques na modelagem de um sistema. ANACLETO (1991) comenta algumas destas variações:

- **Redes de Petri predicado/transição** - definidas por Genrich e Lautenbach (GENRICH, 1986) podem ser interpretadas e manipuladas de forma matemática, comparável ao trabalho com fórmulas lógicas ou expressões algébricas.
- **Redes de Petri Coloridas** - propostas por Kurt Jensen (Jensen, (1986) apud ANACLETO (1991)). Segundo ANACLETO (1991), elas combinam o poder de inscrições formais com a clareza de modelos gráficos. Nas Redes de Petri Coloridas, a relação entre uma cor de ocorrência e as cores da ficha envolvidas na ocorrência da transição é definida por funções anexadas aos arcos. COSSINS e FERREIRA (1992) apresentam uma abordagem baseada em Redes de Petri Coloridas para simulação de sistemas flexíveis de manufatura.
- **Redes de Petri temporizadas:** são um tipo de extensão de Redes de Petri que introduzem o elemento tempo nas Redes de Petri comuns. Segundo ANACLETO (1991), existem três modelos diferentes para as mesmas:
  - \_ "Timed Petri Nets" proposto por Merlin (Merlin, (1976) apud ANACLETO (1991)), que associa um intervalo de tempo a cada transição;
  - \_ "Timed Petri Nets" proposto por Ramchandani (Menashe, (1984) apud ANACLETO (1991)), que assim como no modelo anterior, associa um intervalo de tempo para duração do disparo de cada transição, no entanto durante este período, as fichas que devem ser trocadas de lugar ficam provisoriamente indisponíveis; e
  - \_ o terceiro modelo, proposto por Sifakis (Sifakis, (1979) apud ANACLETO (1991)), associa um parâmetro temporal a cada um dos places de uma Rede de Petri comum, e não às transições como nos outros modelos.
- **Redes de Petri Estocásticas:** foram propostas por pesquisadores da área aplicada de modelagem estocástica, com o objetivo de desenvolver uma ferramenta que permitisse integração de descrição formal, prova de correção e avaliação de desempenho.

## **Capítulo 3 - Proposta de roteiro para projetos de sistemas de intertravamento**

### **3.1 - Discussão sobre intertravamento convencional de máquinas CNC e em ambientes de manufatura flexível**

Um sistema de intertravamento, quando projetado para monitorar somente um elemento isolado de uma instalação sem considerar a integração do mesmo com o que esteja ocorrendo a sua volta, e que não apresente características de flexibilidade (facilidades para rápidas alterações), faz parte de uma classe de sistemas de controle que pode ser chamada de sistemas de intertravamento convencional para máquinas ferramenta.

Por outro lado, os sistemas de intertravamento para ambientes de manufatura flexível diferem dos sistemas de intertravamento convencionais em uma série de pontos. Enquanto os sistemas convencionais atuam como um sistema fechado, auto suficiente e sem características de integração nem possibilidades de mudanças rápidas em sua programação, os sistemas de intertravamento para ambientes de manufatura flexível devem apresentar as seguintes características:

- possibilitar ao projetista e/ou programador realizar rápida e facilmente alterações na programação, no sequenciamento e na atuação dos componentes do sistema; e
- possibilitar a integração do equipamento em uma célula flexível.

Desta forma, um sistema de intertravamento para máquinas ferramenta para ambiente de manufatura flexível deve apresentar algumas características que não se mostram necessárias nos sistemas de intertravamento convencionais. Estas diferenças são ressaltadas a seguir, sob diferentes aspectos:

**constituição física:**

- em um sistema de intertravamento para ambiente de manufatura flexível deve-se procurar a minimização de módulos implementados em "Hardware", devendo-se sempre que possível optar por soluções de "Software". Quando isto for impossível, as soluções de "Hardware" obtidas devem ser facilmente ajustáveis ou configuráveis através de painéis de fácil acesso ao operador. Esta é uma característica dos sistemas controlados por PLC's que garante um alto índice de flexibilidade para o sistema, pois sempre que houver necessidade de alterações na programação ou no processo de produção, isto poderá ser facilmente alcançado através de rápidas modificações na programação das máquinas.

**comunicação:**

- Deve-se prover os sistemas de intertravamento para ambiente de manufatura flexível de um sistema de comunicação que possibilite a comunicação em tempo real com os outros subsistemas integrantes das instalações, tais como outras máquinas, o sistema de transporte e manuseio de materiais, o sistema de gerenciamento e processamento de dados, etc. Os sistemas de intertravamento devem estar preparados para realizar comunicação em tempo real com o operador e com estes outros módulos, através de interfaces de "Software" e "Hardware" adequadas.

**operação**

- Deve haver a possibilidade de uma instalação controlada por um sistema de intertravamento para ambiente de manufatura flexível atuar tanto no modo manual (operada diretamente pelo operador), como no modo automático na presença de um operador ou ainda, de forma totalmente automática, independente de operadores humanos (em regime de "unmanned production").

Isto exige que o sistema possua capacidade para detectar e impedir a ocorrência de situações de acidentes, tomando imediatamente as medidas necessárias para correção destas situações, e que relate ao



operador e/ou ao equipamento gerenciador do sistema (quando houver integração com outros módulos) a ocorrência destas falhas e o "Status" do módulo em questão.

### **integração**

- os sistemas de manufatura flexíveis devem apresentar o maior índice de integração com os outros componentes da célula (outras máquinas, o sistema de transporte e manuseio de materiais, o sistema de gerenciamento e processamento de dados, etc) possível de ser alcançado dentro das especificações do projeto e dos recursos financeiros e humanos a disposição, de forma a maximizar a sua flexibilidade.

A Tabela 3.1 abaixo sintetiza as principais diferenças entre os sistemas de intertravamento convencional e flexível:

Tabela 3.1 - intertravamento para sistemas flexíveis e sistemas convencionais

<b>característica</b>	<b>intertravamento convencional</b>	<b>intertravamento flexível</b>
constituição física	há a possibilidade de utilização de módulos "Hardware".	deve-se optar por soluções de "Software" . Quando for impossível, utilizar-se de módulos de "Hardware" configuráveis.
operação	manual ou automática com a presença de operador	manual, automática com a presença de operador, ou ainda, em regime de unmanned production
comunicação	"off line"	"on line"
integração	parcial	total

### **3.2 - Requisitos prévios ao desenvolvimento do projeto**

Durante o projeto de um sistema de intertravamento destinado ao monitoramento e controle de uma instalação automatizada, uma série de considerações devem ser feitas antes do início do desenvolvimento do mesmo, de forma a evitar que o sistema perca parte ou mesmo toda a sua confiabilidade com o decorrer do tempo ou mudança do modo de operação. PAQUES (1991) discorre sobre estas considerações que, embora possam parecer muitas vezes bastante óbvias, em muitos casos escapam à

percepção dos projetistas, e outras não tão óbvias só serão sentidas por projetistas mais experientes - e conforme PORTO (1990), a experiência só é alcançada depois de alguns erros, o que pode custar muito tempo e/ou dinheiro durante o desenvolvimento e implantação do projeto. A seguir são listadas algumas medidas mínimas que devem ser observadas quando do desenvolvimento de um novo sistema de intertravamento:

### **3.2.1 - Chave geral de segurança**

Quando desenergizada, esta chave deve cortar a alimentação dos módulos de saída que controlam os sistemas ou subsistemas da máquina (GUERRINI, 1988). Esta chave deve ser do tipo contator, para que possa ser habilitada ou desabilitada por uma série de sinais que virão de diversas partes do sistema, e na maioria dos casos não deve cortar a alimentação das entradas do PLC ou agir sobre as suas saídas, quando estas atuarem somente em sinalização ou alarmes. Ela deve agir apenas sobre os atuadores dos equipamentos de controle, de forma que o sistema não perca a capacidade de interface com o usuário.

### **3.2.2 - Monitoramento de falhas internas**

Geralmente, os fabricantes de PLCs costumam incluir nos seus produtos capacidade para realização de auto-diagnóstico, tais como checagem de paridade, "over-flow", divisão por zero, "checksum" e muitas vezes, "watch dog timer". Cabe ao projetista do sistema de intertravamento (SIKORA e JONES (1991); LOHMANN e ZILLMER) providenciar uma lógica externa ao PLC que ligue as saídas de auto-diagnóstico à chave geral de segurança acima descrita, de forma que o sistema fique sensível às falhas internas do PLC.

### **3.2.3 - Instalação elétrica de segurança**

Deve haver um circuito elétrico de proteção independente ligado diretamente aos atuadores e circuitos de mais alta potência e a chave geral de segurança tal que, em caso de emergência, nenhuma pane lógica impeça a desabilitação dos sistemas atuadores dos motores e outros equipamentos potencialmente perigosos à integridade do operador, da peça-obra ou mesmo ao próprio equipamento.

### **3.2.4 - Lógica de segurança**

As conexões e ligações elétricas devem obedecer a uma lógica tal que, em caso de um imprevisto qualquer (interrupção de um condutor, falha de alimentação de um relé, etc) o sistema seja levado para um estado de "fail safe" (por exemplo, a falha de uma chave fim de curso implica que o avanço seja interrompido, e não que a ferramenta possa avançar indefinidamente até usinar a placa que prende a peça!), e isto implica estabelecer o uso apropriado de relés normalmente fechados ou normalmente abertos, chaves de fim-de-curso, etc.

### **3.2.5 - Proteção ambiental**

Os sistemas de intertravamento para ambientes industriais estarão sujeitos a uma série de condições típicas deste ambiente, tais como: temperatura elevada, alto índice de umidade relativa do ar, grande emissão de poeira, vibrações mecânicas e interferência eletromagnética intermitente ou não e de forte intensidade. Desta forma, os projetistas de sistemas de intertravamento devem consultar cuidadosamente o catálogo do fabricante dos componentes utilizados e verificar se estão preparados para enfrentar estes tipos de adversidades e, em caso negativo, devem providenciar condições para que o sistema possa atuar de forma confiável (MAIA (1990); LOHMANN e ZILLMER).

### **3.2.6 - Condições iniciais seguras**

É aconselhável que um módulo de programa que estabeleça condições de inicialização seguras e conhecidas para os diversos subsistemas que compõem as instalações (por exemplo, a torre de ferramentas deve ser levada a uma posição afastada da peça-obra, o eixo-árvore deve estar parado, a bomba do líquido refrigerante deve estar desligada, etc.) seja implementado no mesmo, e este módulo deve ser ativado sempre que o sistema seja ligado ou quando o PLC for reinicializado, de forma a evitar acidentes ou perdas materiais .

### **3.2.7 - Funções externas de "watch dog timer"**

Servem para evitar que o programa em execução entre em "loop infinito" ou para monitorar a execução de tarefas de alto risco

(MAXITEC - a). Este dispositivo funciona da seguinte forma: ao inicializar uma operação, o PLC deve ativar um temporizador cuja base de tempo será função do tempo previamente esperado para execução desta tarefa. No final da mesma, o PLC deve receber uma ordem para desativar este temporizador. Se algo de errado ou inesperado ocorrer, e a execução da tarefa demorar mais que o previsto, o temporizador então não será desativado pelo PLC e desativará então todo o sistema enviando um sinal para a chave geral de segurança.

### **3.2.8 - Redundância de fontes de alimentação**

Muitas vezes, o sistema deve, em caso de falha do sistema de alimentação principal ser levado a uma condição de parada segura onde não haja risco de danos aos equipamentos e operadores. Neste caso, um conjunto de baterias do tipo "no-break" pode ser suficiente para em poucos segundos, levar o sistema a um estado de parada segura. No caso do prejuízo financeiro ser muito grande se o processo for interrompido antes do final (como por exemplo no caso de produção contínua), com a perda total do material em trabalho, devem ser providenciados equipamentos auxiliares de alimentação com capacidade para alimentar o sistema no mínimo durante um ciclo de operação completa (incluindo a sua finalização em um estado seguro) de forma a garantir que não haverá perda material decorrente da interrupção do processo.

### **3.2.9 - Acesso restrito a modificações de "Software"**

Devido as amplas facilidades de programação e alteração em um sistema baseado em PLCs, pessoas alheias ao processo podem inadvertidamente alterar a programação do sistema, causando acidentes que resultarão em danos aos operadores e/ou equipamentos, além de possíveis prejuízos materiais. Algumas formas de contornar este problema são a instalação de senhas de acesso aos programas, exigências de chaves de "Hardware" ("hard-keys") nas saídas do equipamentos, chaves convencionais para acesso ou ainda, utilização de uma linguagem de programação cifrada, de conhecimento restrito a alguns membros da equipe.

### **3.2.10 - Controle da documentação do sistema**

Devido a volatilidade das informações contidas em um sistema PLC, torna-se imperativo manter-se uma documentação completa e atualizada de todo o "Software" do sistema (MAIA (1990), MAXITEC-b). Esta documentação deve ser facilmente inteligível e de fácil acesso para as equipes de manutenção. É recomendável ainda, que sejam mantidas cópias de segurança para todos os disquetes em locais diferentes, que devem ser refeitas sempre que houver modificações nos programas e estas forem aprovadas e colocadas em operação. É importante também manter uma documentação escrita de todo o desenvolvimento do processo, deste o início até as últimas alterações, de forma a permitir um fácil rastreamento do desenvolvimento do sistema desde a sua implantação até as últimas versões, em caso de necessidade para manutenção ou reformas.

### **3.2.11 - Desenvolvimento modular da programação**

Esta prática visa a reduzir os custos de desenvolvimento, manutenção e mesmo ampliações e reformas no "Software" do sistema (BIANCHI (1989)).

### **3.2.12 - Redundância**

Muitas vezes, quando somente um componente ou subsistema do sistema intertravamento falha, pode ser inaceitável economicamente a parada de todo o sistema. Sendo assim, podem ser providenciados sistemas de redundância, que basicamente são réplicas ou tréplicas de partes do sistema de intertravamento que ficam sob a supervisão de um circuito lógico que somente interromperá o funcionamento do sistema no caso de mais de um destes subsistemas apresentar um comportamento atípico (LOHMANN e ZILLMER, OKUMURA et al. (1981), CHANDRA e VERMA (1991), VERMA (1989)).

### **3.2.13 - Separação dos sistemas de intertravamento dos outros sistemas eletrônicos**

Devido a criticidade dos sistemas de intertravamento e de sua importância para a integridade dos equipamentos e operadores da necessidade que seu funcionamento seja ininterrupto e correto, é aconselhável que os circuitos que o compõem sejam completamente

separados dos outros circuitos eletrônicos de controle. Esta necessidade é ressaltada em DOMBROWSKI, JOHNSON E MCCALL (1991):

" Cuidados especiais devem ser tomados no projeto de um sistema eletrônico programável para garantir a completa isolação dos sistemas de intertravamento de segurança e das funções de controle regulares".

Esta necessidade é também reconhecida por algumas entidades, tais como a CPQRA (Chemical Process Quantitative Reliability Assesment) ou a associação nacional para proteção contra incêndios dos Estados Unidos (National Fire Protection Association), que dita a seguinte recomendação:

"O sistema lógico que realiza a funções de gerenciamento e controle em casos de incêndios não devem estar combinados como nenhum outro tipo de sistema" (NFPA, 1988)

As considerações anteriormente citadas, são de grande relevância para a garantia do nível de confiabilidade do sistema de intertravamento. Porém muitas vezes algumas delas não serão estritamente necessárias na implantação de determinados projetos. O que ditará a necessidade de sua aplicação ou não será o grau de complexidade do projeto em questão, as dimensões das consequências que determinadas falhas poderão trazer, a quantidade de recursos financeiros e materiais a disposição dos projetistas e a experiência dos mesmos. No entanto, é importante que o projetista ao descartar qualquer destas considerações, faça-o de forma consciente, após uma análise de seus benefícios e das consequências de sua não utilização, e não devido ao esquecimento ou desconhecimento das mesmas.

### **3.3 - Uma abordagem metódica, passo-a-passo**

O desenvolvimento de um sistema de controle e intertravamento para monitoramento de uma instalação automatizada é um trabalho que pode ser realizado de várias e diferentes maneiras, dependendo da experiência do projetista e da complexidade do sistema em questão.

No entanto, sempre que possível é desejável que um projetista prossiga de maneira uniforme, lógica e metódica, de forma a não se perder durante o desenvolvimento dos trabalhos devido à complexidade e ao tamanho dos mesmos. Alguns autores apresentaram trabalhos relatando o

desenvolvimento de sistemas de intertravamento, como por exemplo LEONARDO-a, 1981, LEONARDO-b, 1981, OKUMURA et al. - 1981, NATALE - 1989, MAIA - 1990, SIKORA e JONES - 1991 e CRANMER - 1991. Com base nestes trabalhos e procurando fornecer uma diretriz para o desenvolvimento de novos sistemas, propõe-se um roteiro para Desenvolvimento de um Projeto de intertravamento, que é sumarizado na Figura 3.1:

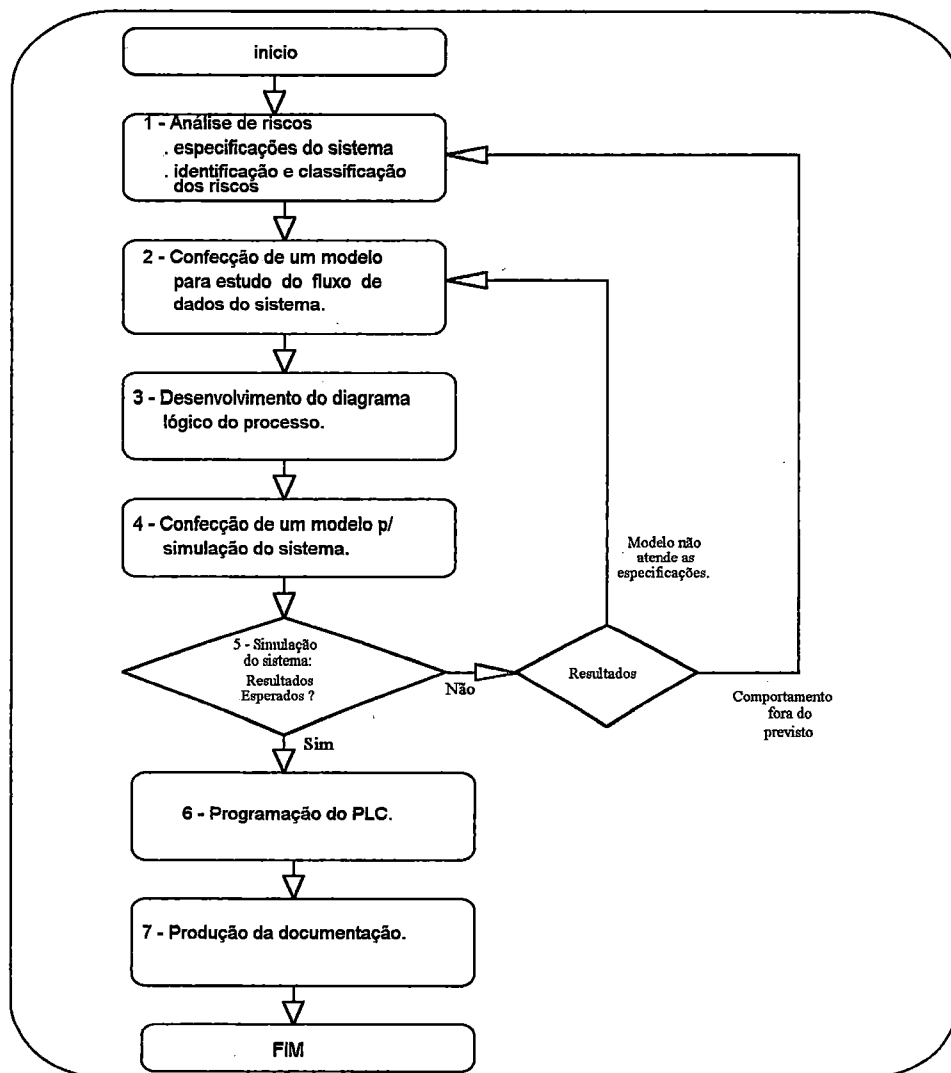


Figura 3.1 - roteiro para desenvolvimento de um projeto de intertravamento

### 3.3.1 - Roteiro para projeto de sistemas de intertravamento

A seguir, são apresentados de uma forma detalhada os passos da proposta para o roteiro, com as justificativas e vantagens da observação de cada um destes. No decorrer do processo o projetista deve, a seu critério

decidir quais destes deverão ser abordados ou não de acordo com critérios como:

- o grau das consequências de uma possível falha no sistema;
- tempo disponível para finalização do projeto;
- a viabilidade financeira; e
- os recursos técnicos disponíveis, etc.

**1 - Análise de riscos e operacionalidade do sistema:** esta etapa é importante porque é aqui, com base nas especificações do sistema que o projetista determinará quais as situações que poderão apresentar riscos e problemas operacionais e, desta forma, propor um modelo para o sistema que, em uma fase mais adiantada do projeto servirá como subsídio para a implantação do sistema de intertravamento propriamente dito. Esta etapa pode ser subdividida em três fases:

**1.1 - Determinação das especificações do sistema:** este passo envolve o levantamento das especificações globais do sistema, onde será feita a descrição da composição física do mesmo de uma maneira global, descrevendo os elementos que o compõe; e uma descrição superficial do funcionamento do mesmo (preferivelmente de forma modular, de forma a facilitar o seu entendimento).

**1.2 - Desenvolvimento de um estudo de riscos e operacionalidade :** nesta etapa, o projetista deverá, com base na sua experiência, prever todos os possíveis acidentes que poderão vir a ocorrer nas instalações, além dos incidentes operacionais causados por inabilidade dos operadores, por condições de trabalho inadequadas ou mesmo devido a intervenções não autorizadas de pessoas estranhas ao sistema. Deverá então realizar um "brainstorming" com outros profissionais envolvidos no projeto de forma a reavaliar as conclusões tomadas individualmente.

**1.3 - Classificação dos riscos e determinação do nível de intertravamento:** de acordo com as conclusões obtidas nos itens acima, deverá ser montada uma Tabela classificando os diversos acidentes e incidentes potenciais a que estarão submetidas as instalações e determinar-se-á então, o nível de proteção e prevenção indicados para cada caso.



**2 - Proposição de um modelo:** a partir das informações levantadas nos ítems anteriores deve-se montar um modelo modular que represente o comportamento do sistema de maneira mais próxima possível da realidade - o quão próximo da realidade deve estar o comportamento do modelo e o nível de detalhamento das informações dependerá de uma série de fatores, tais como:

- a viabilidade técnica e econômica do nível de detalhamento,
- a disponibilidade de tempo para desenvolvimento de um modelo mais complexo e ainda,
- o nível de detalhamento das informações desejado no momento.

Aconselha-se que esta etapa seja subdividida em duas fases:

- em primeiro lugar desenvolver um modelo que descreva o funcionamento do sistema de maneira superficial, levando-se em consideração apenas variáveis estáticas e o fluxo de dados entre os diversos módulos que compõe o sistema. Este modelo servirá para se ter uma idéia do comportamento do mesmo em regime de repouso, e posteriormente para embasamento no desenvolvimento do diagrama lógico do processo e do modelo para simulação do sistema.
- a seguir, deve-se confeccionar um modelo que considere variáveis dinâmicas que influenciam no comportamento do sistema e que permitirão prever o desempenho do mesmo em regime transitório (quando houver mudanças na programação da produção, no processo, no produto, etc.). Esta segunda fase é muito importante principalmente em sistemas de manufatura flexíveis, e deve ser realizada após o passo 3, que é a construção do diagrama lógico do sistema.

**3 - Desenvolvimento do diagrama lógico do sistema:** Neste passo deverá ser sumarizada a lógica do processo, que poderá ser expressa através de um diagrama booleano que exprima todas as implicações lógicas para execução dos diversos comandos enviados ao sistema pelo o operador.

**4 - Desenvolvimento do modelo para estudo do sistema em regime dinâmico:** consiste em um modelo que considere variáveis

dinâmicas que influenciam no comportamento do sistema e que permitirão prever o desempenho do mesmo em situações não estáticas (quando houver mudanças na Programação da Produção, no Processo de Fabricação, no produto, etc). As redes de Petri apresentam-se como uma ferramenta bastante poderosa para este fim.

**5 - Simulação:** utilizando-se do modelo apresentado no passo anterior, dever-se-á simular o comportamento do sistema para a identificação de possíveis gargalos ou falhas de sincronismo entre os diversos módulos. O processo de simulação antes da implantação do sistema real é muito importante porque permite a aceleração do funcionamento do sistema no tempo, possibilitando prever os quase inevitáveis acidentes que ocorrem quando da implantação de um sistema real e gerando uma economia financeira, pois poupa a construção de protótipos para testes (RANK, 1983).

**6 - Programação:** será desenvolvida a partir do diagrama lógico do sistema (Ítem numero 3 do roteiro) e realizada em uma das formas de representação disponíveis (LADDER, Diagrama de blocos lógicos, GRAFCET ou Lista de Instruções). Nesta fase, de forma a facilitar o entendimento do programa ou mesmo futuras alterações ou ampliações da programação, é aconselhável que o desenvolvimento do "Software" se dê de uma forma modular, onde os diversos módulos possam estar contidos nas seguintes subclasses:

- módulos de operação: fazem a inicialização do sistema, ajustam as saídas do PLC em estados seguros, e incluem operações manuais fora do controle automático ("start", "stop", emergência, etc)
- seqüência de operações: contém o corpo principal do programa, e pode ser obtido das especificações funcionais (Ítem 1.1 deste roteiro).
- saídas de sinais: operam sobre os atuadores nas saídas do PLC
- "Status"/indicadores: responsável pelos estados dos alarmes para interface homem-máquina.

Algumas considerações finais a respeito do desenvolvimento do "Software" que podem ajudar no processo economizando tempo e facilitando futuras alterações: procurar agrupar as funções repetitivas em

uma biblioteca de rotinas, cuja montagem e utilização pode ser facilmente realizada a partir de chamadas condicionais ou incondicionais pelo programa principal.

**7 - Produção de documentação:** a documentação final, que terá por objetivo permitir o entendimento claro e rápido do sistema por outros usuários quando da necessidade de ampliações ou manutenção, deverá conter no mínimo:

- uma lista de referências cruzadas de I/O;
- a listagem do programa de intertravamento completo, com todos os comentários e mnemônicos;
- descrição detalhada da operação do programa para cada bloco funcional;
- a lista de I/O do PLC, onde deve-se incluir todos os equipamentos que relacionam-se com o mesmo, sua marca, sua numeração relativa no diagrama elétrico e seu endereço de I/O para o PLC; e
- diagrama de configuração do PLC: é a representação gráfica do passo anterior - um diagrama que contenha o PLC indicando suas entradas e saídas com as conexões de "racks", placas, alimentação, cabos, etc.

**8 - Descrição seqüencial:** Este passo pode ser considerado opcional, e é destinado a facilitar os trabalhos das equipes de manutenção no futuro. Aqui, o funcionamento do sistema deverá ser detalhado de uma forma bastante aprofundada, de forma que a descrição de cada evento traduza o comportamento e os estados dos diversos sensores e equipamentos que atuam durante a ocorrência do mesmo (por exemplo: o cilindro numero 4 (normalmente retraído) expande-se quando a válvula solenóide numero 15 (normalmente fechada) abrir-se em função do sinal recebido da saída numero 7 (aciona porta) do PLC).

O roteiro proposto servirá como base para o desenvolvimento de um sistema de intertravamento para um torno CNC em ambiente de manufatura flexível. Devido à falta de um torno CNC nas oficinas do LAMAFE no momento da finalização deste trabalho, o mesmo será desenvolvido até o passo 5 deste roteiro, pois os passos seguintes já exigem uma abordagem mais dedicada ao equipamento em questão, o que inviabiliza a execução dos mesmos.

## **Capítulo 4 - Desenvolvimento de um estudo de riscos e operacionalidade**

Neste Capítulo será realizado um estudo sobre a operacionalidade e os eventuais riscos a que o sistema estará sujeito durante sua operação. Este estudo é realizado com base na configuração do sistema, onde o projetista deve considerar todos os equipamentos e periféricos que o compõe, assim como os elos de ligação do mesmo com os outros componentes do sistema global (o sistema flexível de manufatura completo).

O intertravamento deve evitar que algumas operações sejam realizadas sem que certas pré-condições estejam satisfeitas, ou ainda, no caso de ocorrência de situações que tragam riscos aos operadores ou aos equipamentos durante a execução da operação, o intertravamento deve imediatamente abortá-la, porém de forma que a parada do sistema se dê em um estado seguro ("fail safe mode").

### **4.1 - Determinação das especificações do sistema**

O sistema adotado será um torno de dois eixos (X e Z) comandado numericamente por um CNC de 16 "bits" da MAXITEC (tecnologia Siemens), a ser integrado á uma célula de manufatura flexível gerenciada por computador, a qual é composta por várias estações de trabalho para execução das tarefas de usinagem (dentre estas, um torno CNC, Magazines Automatizados, AGV's e Robôs para alimentação dos diversos componentes, conforme a Figura 4.1 a seguir); e arquitetura aberta, permitindo expansões com novas estações de trabalho.

O funcionamento da Célula pode ser descrito, de uma maneira global da seguinte forma:

Ao ser inicializado, o gerenciador lê o plano de produção e determina então a programação das diversas estações de trabalho de forma a executar o processo de produção. Feito isto, é enviada então ao AGV a ordem para buscar no magazine as peças a serem trabalhadas e entregá-las aos robôs que alimentam as respectivas estações, as quais então realizarão a tarefa de usinagem das peças e novamente as entregarão aos robôs.

Estes então, por sua vez novamente as repassarão ao AGV que, de acordo com a programação recebida e a disponibilidade das estações, levará a peça de volta ao magazine, a um "buffer" ou para outra estação de trabalho se houver a necessidade de uma nova operação de usinagem .

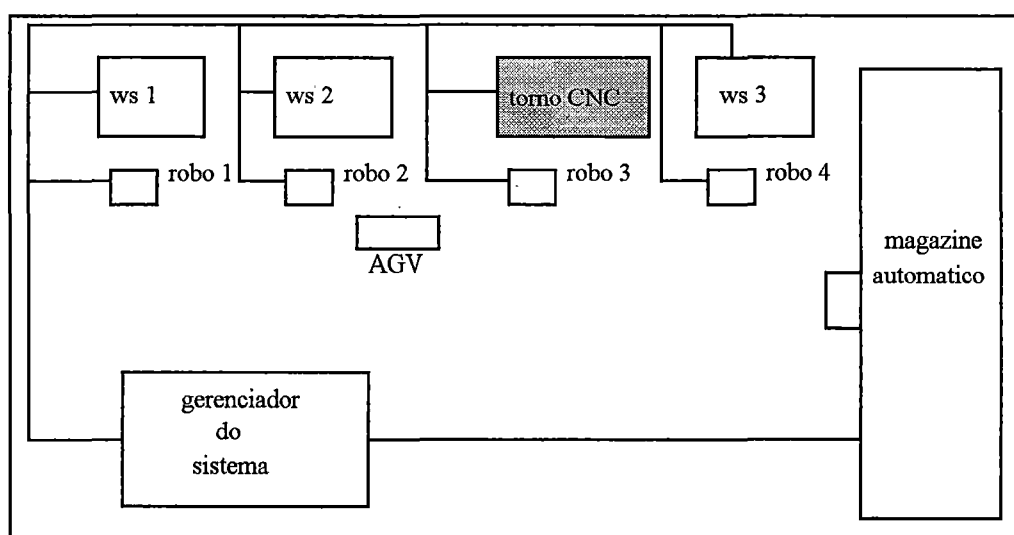


Figura 4.1 - célula de manufatura flexível

O torno a ser monitorado pelo sistema de intertravamento, possui como principais características:

- Troca automática de ferramentas, sendo que o porta-ferramentas tem capacidade para armazenar até 14 ferramentas diferentes para usinagem das peças;
- Movimento automático do contraponto com acionamento pneumático comandado manualmente ou por programação;
- Placa com movimentos automáticos de abertura e fechamento para fixação das peças, com acionamento pneumático e comando manual ou por programação;

- Porta de alimentação do torno com movimentos automáticos de abertura e fechamento com acionamento pneumático e comando manual ou por programação;
- Transportador de cavacos comandado manualmente ou por programação; e
- Circuito hidráulico para líquido refrigerante comandado manualmente ou por programação.

O torno terá capacidade para operar nos modos automático e manual, podendo ser operado e/ou programado diretamente através do painel por um operador, ou então, á distancia através de uma rede de comunicação.

Além disso, deverá possuir controle suficientemente inteligente para operar também na total ausência de operadores humanos ("unmanned production"), integrado com os outros elementos da Célula, trocando então com estes dados de programa e de máquina; além de peças e matéria-prima.

O CNC (comando numérico computadorizado) que realizará o controle e monitoramento do torno e o interfaceamento do mesmo com o usuário e com o restante da Célula possui uma estrutura modular constituída por dois microprocessadores dedicados. Um deles realiza as funções de controlador lógico programável (CLP), que executa o monitoramento dos sensores do torno, computa o programa de intertravamento, e de acordo com o conjunto dos estados destes, aciona ou não os comandos dos diversos subsistemas. O segundo microprocessador é o chamado comando numérico propriamente dito, que realiza o controle de velocidade e de posicionamento dos eixos do torno. Ambos os microprocessadores trocam dados entre si e com os outros módulos componentes do sistema, tais como a interface homem-máquina e o sistema de processamento de dados do FMS durante todo o tempo de operação do torno.

Algumas das principais características do controlador programável adotado para executar o intertravamento do torno (Figura 4.2 a seguir - MCS, 1989) são:

- sistema MXT 130 da MAXITEC (tecnologia Siemens alemã);
- 1024 "flag"s remanentes e 1024 "flag"s não remanentes;

- 128 temporizadores, com quatro bases de tempos diferentes (10.24 ms, 102.4 ms, 1.024 s e 10.24 s) que podem ser multiplicadas por qualquer número inteiro de 0 a 999;

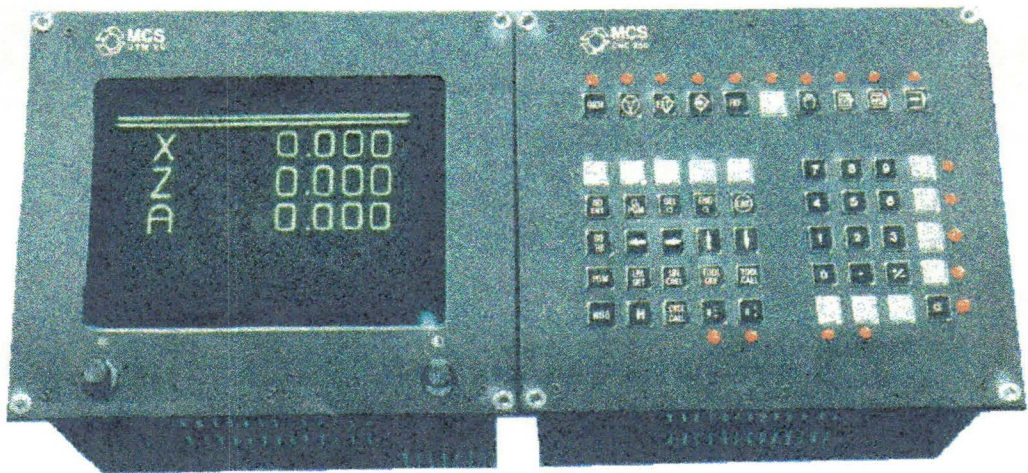


Figura 4.2 - CNC comercializado pela MCS (MCS,1989)

- 64 contadores que podem contar de 0 até um número inteiro qualquer, programável, entre 1 e 999;
- 512 entradas e 512 saídas;
- Memória de 64 Kbytes, sendo 4 K de EPROM integrada a CPU (memória de dados + sistema operacional) e a possibilidade de expansão de mais 4 K também de EPROM disponíveis ao usuário;
- Palavra de memória de 1 byte (geralmente, uma instrução do STEP 5 possui 2 bytes); e
- consumo de corrente : 3,5 ampéres (típico) ou 6 ampéres (máximo).

As características principais do comando numérico que executará o controle de posicionamento e de velocidade dos eixos do torno são (MAXITEC - c):

- tecnologia baseada no microprocessador Intel 8086;
- programação de deslocamento em valores absolutos ou incrementais;
- programação de avanço em mm/minuto ou mm/rotação;

- possibilidade de correção do raio de corte, permitindo a programação de contornos;
- memória de programa de 40000 caracteres, alimentada por bateria, o que permite maior segurança para os dados em caso de falha de energia;
- programação parametrizada, com possibilidade de pré configuração de até 100 parâmetros (de R00 a R99);
- realização de testes em velocidade rápida ("Dry-run") com ou sem a movimentação dos eixos, sendo que a desabilitação dos mesmos pode ser realizada individualmente;
- reinício de programa após interrupção a partir do ponto onde parou (por exemplo, após a quebra de uma ferramenta);
- busca de bloco: pode-se iniciar a execução do programa por qualquer bloco com numeração definida, mesmo quando este for uma subrotina; e
- possibilidade de operação do equipamento no modo "teach-in" (entrada de dados via teclado com execução imediata e posterior gravação dos comandos) ou no modo "playback" (movimentação através de JOG e transferência de posição final para a memória de programa.

#### **4.2 - Desenvolvimento de um estudo de riscos e operacionalidade**

Neste ítem será realizado a seguir um estudo sobre o comportamento do sistema, sob as condições operacionais às quais estará submetido durante seu período de operação.

O estudo deverá considerar o comportamento dos diversos módulos que compõem o equipamento situações que poderão resultar de:

- estados aos quais o equipamento pode ser levado devido a intervenções de pessoas alheias ao processo ou a falta de habilidade do operador ou programador;
- cada um dos comandos enviados pelo programa de usinagem;
- ações ou falhas causadas por uma pane em um dos subsistemas que o compõe;



- defeitos de algum módulo do equipamento ou mal dimensionamento dos diversos subsistemas;

ou ainda, por qualquer outro motivo que possa levar o sistema a um comportamento fora de padrão.

Todas estas situações devem ser analisadas pelo projetista que deverá então procurar prever quais os possíveis acidentes que possam vir a ocorrer durante a operação do mesmo. Uma vez estas situações tenham sido identificadas, deve-se classificá-las pelas dimensões da intensidade de suas consequências e então, procurar de acordo com a classificação de cada uma, propor soluções de intertravamento de forma a contorná-las ou mesmo eliminá-las, se possível for.

#### **4.2.1 - classificação do nível de risco**

As situações de operação fora de padrão que podem ocorrer durante a operação do sistema devem receber uma classificação quantitativa de acordo com as dimensões de suas consequências para os operadores, para o próprio equipamento e para as instalações; de forma que se possa durante o projeto do sistema de intertravamento, propor soluções para cada uma delas. De forma que esta classificação seja realizada de uma maneira uniforme, deve-se propor uma Tabela onde os potenciais acidentes serão agrupado de acordo com as consequências que trarão. Alguns trabalhos (CHANDRA e VERMA - 1991, FREEMAN - 1989, KLETZ - 1985, GRUHN - 1991, DOMBROWSKI, JOHNSON e McCALL - 1991) que foram publicados sobre este tema, podem servir como base para confecção de uma Tabela de risco. A Tabela 4.1 a seguir mostra uma proposta para um possível método de classificação para os riscos, para o sistema em questão:

Tabela 4.1 - classificação para os níveis de risco

nível	consequências p/ o operador	consequências p/ equipamentos
1	Acidentes de grandes proporções, com risco de vida e danos físicos. Causas: quedas, descargas elétricas, queimaduras graves, intoxicação, etc.	Acidentes com danos irreparáveis para os equipamentos. A produção é interrompida por um longo período, com grandes prejuízos e necessidade de assistência técnica externa.
2	Acidentes resultando em ferimentos graves, tais como fraturas, queimaduras leves, intoxicação, etc. Necessidade de socorros médicos e possivelmente, afastamento para tratamento.	Graves acidentes, resultando em prejuízos financeiros de grandes proporções. A produção é interrompida por um longo período, porém não há necessidade de assistência técnica externa.
3	Acidentes resultando em ferimentos leves onde os primeiros socorros podem resolver o problema. Consequências: queimaduras leves e pequenas escoriações.	Acidentes de médio porte, resultando em prejuízos financeiros de média intensidade e paralisação da produção por um pequeno período para reposição de componentes danificados ou reinicialização dos equipamentos.
4	Pequenos incidentes que não resultam em ferimentos ao operador, apenas em situações desagradáveis. Derramamento de líquidos, alguns tipos de pó ou ainda, limalhas de metais.	Pequenos incidentes que não resultam em danos aos equipamentos, porém causam prejuízos financeiros devido a necessidade de parada e reicIALIZAÇÃO dos equipamentos.
5	Incidentes de pequeno porte que não causam transtornos ao operador, apenas algum pequeno prejuízo financeiro.	Pequenos incidentes que não trazem danos as instalações, porém a alguns periféricos e equipamentos de instrumentação.

#### 4.2.2 -Estudo de operacionalidade e análise de acidentes:

Aqui deve-se levantar todos os possíveis comandos enviados a máquina e as consequências que poderão vir da operação em condições não ideais do equipamento, causadas por erros de programação ou falta de habilidade do operador. O sistema de intertravamento deve evitar que tais condições ocorram.

A seguir, deve-se levantar todos os possíveis acidentes e/ou falhas de algum componente do sistema que poderão vir a ocorrer durante a operação da máquina e as consequências que poderão vir da operação do equipamento em tais condições. O sistema de intertravamento deve então ser capaz de identificar tais situações e tomar decisões para que a ocorrência das mesmas não resultem em situações de acidentes.

#### 4.2.2.1 - Acionar o freio do eixo-árvore:

Ao ser emitido o comando para acionamento do freio do eixo-árvore, o sistema hidráulico de freio comprime suas castanhas contra o eixo do motor, fazendo com que o giro do mesmo seja interrompido.

##### ***Falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- O freio não deve ser ativado com o eixo-árvore acionado, pois isto causará danos ao motor do mesmo e provavelmente, à peça em trabalho e à ferramenta atuante. Sendo assim, quando do acionamento do freio, deve haver uma rotina que desligue o eixo-árvore, o líquido refrigerante de corte, o transportador de cavacos e os eixos X e Z, considerando um pequeno atraso (em torno de 2 segundos) antes de acionar o freio.

nível de risco: 2

##### ***possíveis acidentes:***

- sistema acionado inadvertidamente

*causa:* interferência eletromagnética no comando do mesmo, erro de programação ou intervenção não-autorizada de pessoas estranhas ao processo.

*consequências:* perda da peça ou da ferramenta. Possíveis danos ao motor do eixo-árvore.

nível de risco: 3

*ação a ser tomada:* providenciar proteção do sistema de intertravamento contra interferências eletromagnéticas e fazer com que algumas providências sejam tomadas quando o freio for acionado com o sistema em operação de usinagem: o freio somente será acionado após um pequeno período de atraso, durante o qual simultaneamente serão desligados o eixo-árvore, os avanços dos eixos X e Z, o refrigerante, o transportador de cavacos e a porta será fechada.

##### ***condições de intertravamento:***

- acionamento do freio:

O freio somente poderá ser acionado se o motor do eixo-árvore estiver desligado. Pode-se providenciar uma rotina de liberação automática do eixo durante a (re)inicialização do sistema.

monitoramento: pressostato para o circuito pneumático de comando do mesmo e/ou chaves de fim-de-curso para verificação da posição das garras.

#### **4.2.2.2 - Pedido de troca de ferramentas:**

##### ***falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- Ao se tentar realizar uma troca de ferramentas com a torre muito próxima da peça em trabalho, pode haver um choque entre a mesma e a ferramenta durante o movimento do trocador, o que pode resultar em danos para ambas as partes. Sendo assim, o pedido de troca de ferramenta somente deve ser habilitado se a torre estiver afastada em uma posição considerada segura.

nível de risco: 3

##### ***possíveis acidentes:***

- ferramenta mal fixada no suporte ou ferramenta errada

*causa:* falta de habilidade do operador, problemas de encaixe entre a ferramenta e o suporte ou erro de programação.

*consequências:* perda da peça ou da ferramenta.

nível de risco: 3

*monitoramento:* uma chave de fim-de-curso para verificar o encaixe correto da ferramenta e um "encoder" para verificação de qual delas está em posição de usinagem.

- ferramenta sem corte

*causa:* negligência ou ausência de um sistema de manutenção preventiva.

*consequências:* perda da peça e/ou da ferramenta, além de baixa produtividade para o sistema.

nível de risco: 3

*monitoramento:* sensor acústico ou sensor térmico para medir aquecimento excessivo.

***condições de intertravamento:***

- torre de ferramentas afastada.

*monitoramento:* chave fim-de-curso ou sensor indutivo de proximidade. Pode-se, opcionalmente, acrescentar uma rotina de programação que realize o afastamento da torre sempre que houver o pedido de troca de ferramentas.

- verificar se a ferramenta está posicionada corretamente.

*monitoramento:* chave fim-de-curso ou sensor indutivo de proximidade para verificar a fixação adequada da ferramenta e "encoder" para verificar se a ferramenta posicionada é aquela ordenada pelo programador.

**4.2.2.3 - Abrir/fechar porta de alimentação do torno:**

***falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- devido aos riscos que a operação do torno com a porta aberta pode trazer para o operador e equipamentos próximos, esta somente poderá ser aberta com o sistema desligado.

nível de risco: 1.

***possíveis acidentes:***

- porta abrir devido á um imprevisto qualquer durante a operação de usinagem, expondo o operador e instalações a riscos de grandes proporções.

*causa:* intervenção não-autorizada de pessoas estranhas ao processo, falta de habilidade do operador, erro de programação ou ainda, um possível acionamento do comando devido á ruído eletromagnético.

*consequências:* o operador pode ficar preso ao eixo-árvore ou ainda, a peça pode escápar e ser arremessada em grande velocidade para fora do torno. Pode ainda acontecer de algum equipamento ou

periférico cair sobre o transportador de cavacos ou ser atingido pelo jato de líquido refrigerante de corte.

nível de risco:1

*ação a ser tomada:* proteção do sistema de intertravamento contra interferências eletromagnéticas e impedir que a porta seja aberta quando o sistema estiver usinando.

***condições de intertravamento:***

A porta poderá ser fechada a qualquer momento, sem nenhum tipo de pré-condição. Porém, somente poderá ser aberta quando o sistema não estiver em operação de usinagem, isto é:

- eixo-árvore desligado

monitoramento: "encoder" ou tacômetro acoplados ao eixo do motor.

- eixos X e Z não acionados

monitoramento: "encoder" ou tacômetro acoplados ao eixo do motor.

- transportador de cavacos desligado

monitoramento: "encoder" ou tacômetro acoplados ao eixo do motor.

- líquido refrigerante desligado

monitoramento: sensor de fluxo acoplado ao duto do circuito do líquido refrigerante ou "flag" de memória do sistema.

**4.2.2.4 - Acionar avanço dos eixos X ou Z:**

O acionamento dos eixos X e Z produz o movimento relativo entre a ferramenta e a peça que permite a realização da operação de usinagem.

***Falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- Devido a falhas de programação ou falta de habilidade do operador, o avanço da ferramenta pode passar do ponto da peça, com a mesma atuando sobre partes da própria máquina como por exemplo, a placa que prende a peça - isto pode fazer com que a mesma seja solta e arremessada a grande velocidade.

nível de risco: 1

- Devido a falhas de programação ou falta de habilidade do operador, a usinagem pode ser realizada com a ferramenta errada, ou ainda, se a mesma não estiver bem fixada e posicionada corretamente no suporte, a peça pode ser danificada. Aqui, se for um caso de produção em série em regime totalmente automatizado ("unmanned production"), até que o problema seja descoberto (se não houver um sistema de monitoramento em tempo real) os prejuízos financeiros poderão ser de grande volume.

nível de risco: 2

- Por falha de programação, falta de habilidade do operador ou defeito dos equipamentos, os eixos X e/ou Z podem vir a ser acionados sem que o eixo-árvore esteja ligado. Isto provavelmente levará a perda da peça e danos para a ferramenta atuante.

nível de risco: 3.

- A perda do ponto de referência dos eixos coordenados e/ou da peça em trabalho poderá também levar a perda da peça ou da ferramenta atuante. Em um caso de produção em série em regime totalmente automatizado ("unmanned production"), até que o problema seja descoberto (se não houver um sistema de monitoramento em tempo real) os prejuízos financeiros poderão ser de grande volume.

nível de risco: 3

### ***possíveis acidentes:***

- quebra da ferramenta

causa: falta de habilidade do operador, erro de programação ou negligência do sistema de manutenção.

consequências: perda da ferramenta e/ou da peça.

monitoramento: sensor acústico de vibração, ou sensor térmico.

- interrupção do fluxo de líquido refrigerante

causa: perfuração ou entupimento do duto do refrigerante

consequências: sobreaquecimento da ferramenta de corte e da peça em trabalho, com possibilidade de danos para ambas as partes.

monitoramento: sensor de fluxo e/ou pressostato diferencial nos dutos.

***condições de intertravamento:***

os eixos X e Z somente poderão ser acionados sob as seguintes condições:

- limites da área de trabalho não ultrapassados  
monitoramento: chaves de fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade
- circuito pneumático OK!  
monitoramento: pressostato para medida do nível de pressão pneumática
- realimentação de posição e velocidade OK!  
monitoramento: "flag"s de memória do programa de intertravamento.
- eixo-árvore ligado  
monitoramento: tacogerador do motor em questão.
- porta de alimentação do torno fechada  
monitoramento: chaves de fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade
- ferramenta fixa corretamente no suporte  
monitoramento: chaves de fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade para verificar a fixação da ferramenta e "encoder" para verificar se a ferramenta utilizada é a correta.

#### **4.2.2.5 - Acionar o eixo-árvore**

Ao ligar o eixo-árvore, a peça a ser usinada passa a girar em grande velocidade para que a ferramenta de corte possa atuar sobre ela.

***Falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- a peça pode escapar devido a falta de pressão no circuito que fecha as castanhas da placa (que pode ser causada por falha no compressor ou vazamento nos dutos), falha nos circuitos elétricos ou má fixação da peça na placa, com o possível lançamento da mesma,



que é arremessada pela tangente podendo atingir o operador ou mesmo outros equipamentos da Célula.

nível de risco: 1

- operador poderá ficar preso ao eixo-árvore através de adornos ornamentais (correntes de pescoço ou pulseiras), parte da vestimenta (uma blusa desabotoada, um avental comprido, etc) ou mesmo pelo cabelo, quando este for comprido. Devido a velocidade e ao torque do motor do eixo, esta situação pode levar á morte por sufocamento ou outros ferimentos de grandes proporções.

nível de risco: 1

- Antes do freio do eixo ser desativado o eixo não deve ser habilitado, pois se isto ocorre além do consumo maior de energia elétrica para movimentá-lo que será necessária, também ocorrerão danos ao motor do eixo-árvore. Sendo assim, durante o "start-up" do sistema deve haver uma rotina que libere o eixo automaticamente.

nível de risco: 2.

- arremesso de cavacos metálicos que podem causar curto-circuitos em equipamentos próximos, danos mecânicos a aparelhos de precisão ou ferimentos (como até mesmo cegueira) nos operadores.

nível de risco: 3

- eixo-árvore não deverá ser desligado com os avanços dos eixos X e Z ativados, em posição de usinagem da peça, pois isto poderá causar danos a peça ou a ferramenta que estejam sendo utilizadas.

nível de risco: 3

### ***possíveis acidentes:***

- rotação abaixo da taxa especificada

*causa:* sobrecarga no motor, queda de potência da alimentação ou problemas de lubrificação

*consequências:* danos para a peça usinada, ferramenta e equipamentos. Possível queima do motor.

nível de risco: 2

*monitoramento:* pode ser utilizado um sensor eletromecânico (um tacômetro), sensores acústicos de vibração ou ainda, "flag"s de memória do sistema.

- falta de pressão no circuito pneumático

*causa:* vazamento nos dutos do circuito ou problemas com o compressor.

*consequências:* a peça poderá escapar causando acidentes com sérios danos para o operador, o equipamento e/ou as instalações.

nível de risco: 1

*-monitoramento:* o monitoramento pode ser feito utilizando-se sensores de pressão do tipo pressostatos.

### ***condições de intertravamento:***

condições para ligar o eixo-árvore:

- presença das três fases de energia elétrica

monitoramento: utilizar disjuntores do tipo residual diferencial.

- circuito de lubrificação OK!

monitoramento: utilizar pressostatos diferenciais para medir o entupimento dos dutos e bóias de nível para medir perda da quantidade de lubrificante.

- circuito hidráulico OK!

monitoramento: utilizar pressostatos diferenciais para medir o entupimento dos dutos e bóias de nível para medir perda da quantidade de líquido.

- porta de alimentação do torno fechada.

monitoramento: chaves fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade

- freio do eixo-árvore desativado

monitoramento: chaves fim-de-curso ou sensores de proximidade indutivos

- torre de ferramentas afastada

monitoramento: chaves fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade

- velocidade máxima de giro do eixo não excedida  
monitoramento: "flag" de memória do PLC
- sistema operando dentro da faixa de tolerância  
monitoramento: "flag" de memória do PLC

condições para desligar o eixo-árvore:

- os avanços dos eixos X e Z devem estar desligados.  
monitoramento: "encoder", tacometro ou "flag" de memória do PLC

#### **4.2.2.6 - Ligar o líquido refrigerante**

Ao ser acionado, o circuito hidráulico do líquido refrigerante passa a expelir um jato sobre a peça-obra e sobre a ferramenta atuante, de forma a evitar que ambas se aqueçam demasiadamente e danifiquem-se.

##### ***falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- Se o sistema for acionado com a porta de alimentação do torno aberta, o líquido refrigerante de corte poderá espirrar sobre o operador ou equipamentos que estejam próximos ao torno, causando algum transtorno ao operador ou pequenos danos aos equipamentos próximos.  
nível de risco: 5

##### ***possíveis acidentes:***

- falta do líquido refrigerante  
*causa:* vazamento ou obstrução no circuito hidráulico, pouco refrigerante no reservatório ou problemas com o compressor.  
*consequências:* mal funcionamento do equipamento, com aquecimento excessivo da peça usinada e da ferramenta, o que pode trazer danos a ambas as partes. Se o problema persistir por um longo período pode causar danos ao equipamento.  
nível de risco: 4

*monitoramento*: pode-se utilizar um sensor de nível no reservatório do lubrificante e um pressostato diferencial no circuito hidráulico para verificação de problemas de fluxo.

- presença de impurezas no líquido refrigerante

*causa*: defeitos no filtro.

*consequências*: aparecimento de impurezas que poderão causar danos a precisão de corte do equipamento com consequente queda de qualidade do trabalho realizado

nível de risco: 4

*monitoramento*: sensor de emissão acústica localizado no suporte de ferramenta.

#### ***condições de intertravamento:***

- o circuito do líquido refrigerante de corte poderá ser ligado somente com a porta de alimentação do torno fechada.

*monitoramento*: chaves fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade.

#### **4.2.2.7 - Ligar o transportador de cavacos**

A esteira do transportador de cavacos ao ser ligada inicia seu funcionamento de uma forma ininterrupta para retirar o refugo da operação para um depósito ao lado da máquina, alocado para este fim.

#### ***falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- O operador pode acionar o comando para desligar o transportador de cavacos com a operação de usinagem em andamento. Isto causará o acúmulo de cavacos dentro do gabinete da máquina, o que implicará na necessidade de perda de tempo posterior para limpeza da mesma.
- nível de risco: 5.

***possíveis acidentes:***

- Acionamento do sistema com a porta de alimentação do torno aberta. Assim como no caso do eixo-árvore, também aqui o operador poderá prender-se a esteira do transportador de cavacos. Porém neste caso a velocidade do sistema assim como o torque do motor são bem mais baixos, de forma que a situação não é tão grave. Pode também acontecer a queda de algum equipamento periférico ou de instrumentação sobre a esteira do transportador de cavacos, o que pode causar danos a ambos ou a um deles (ou a esteira ou ao equipamento que caiu sobre a mesma).

nível de risco: 3

***condições de intertravamento:***

- o transportador de cavacos poderá ser ligado somente com a porta de alimentação do torno fechada.

monitoramento: chaves fim-de-curso ou sensores indutivos de proximidade.

**4.2.2.8 - Prender/soltar peça da placa do eixo-árvore e movimentar o contraponto**

Uma vez que a placa e o contraponto tem atuações complementares e o elemento atuador é o mesmo (válvulas pneumáticas), as condições de operação da placa e do contraponto e os níveis de risco serão os mesmos em ambos os casos.

***falhas operacionais que poderão ocorrer:***

- Pedido para soltar a peça durante a operação de usinagem. Neste caso, a mesma estará girando á uma grande velocidade, e se for solta durante o processo, causará acidentes de grandes proporções.

nível de risco: 1.

- a tentativa de trocar a peça-obra com alguns subsistemas funcionando, tais como avanços dos eixos X ou Z, transportador de

cavacos ou líquido refrigerante pode trazer consigo alguns riscos já citados em itens anteriores.

nível de risco: 2

- Não se pode soltar a peça com o contraponto avançado ou a porta fechada, pois não haverá possibilidade de remoção da mesma, e esta cairá sobre a base do torno, podendo então danificar ambas as partes  
nível de risco: 3

- a torre de ferramentas deverá estar afastada do centro de giro do eixo-árvore de forma a não atrapalhar o trabalho de remoção e fixação de peças.

nível de risco: 4

#### ***possíveis acidentes:***

- falta de pressão no circuito pneumático

*causa:* vazamento nos dutos do circuito ou problemas com o compressor.

*consequências:* a peça poderá escapar causando acidentes com sérios danos para o operador, o equipamento e/ou às instalações.

nível de risco: 1

*monitoramento:* o monitoramento pode ser feito utilizando-se sensores do tipo pressostato.

- fixação inadequada da peça no contraponto.

*causa:* falta de habilidade do operador

*consequências:* o eixo de giro da peça a ser trabalhada não estará paralelo ao eixo de giro do eixo-árvore, e em consequência desta excentricidade, o resultado da operação de usinagem não será aquele programado pelo projetista. Em casos extremos ainda, a peça poderá escapar, causando acidentes com sérios danos para o operador, o equipamento e/ou às instalações

nível de risco: 1

*monitoramento:* pode-se empregar uma sonda de contato mecânico do tipo relógio comparador para monitorar a excentricidade da peça durante o giro.

***condições de intertravamento:***

a peça presa á placa do eixo-árvore somente poderá ser solta se o torno não estiver em operação de usinagem, isto é:

- eixo-árvore desligado  
monitoramento: "encoder" ou tacômetro acoplados ao eixo-árvore
- avanços X e Z desligados  
monitoramento: "encoder" ou tacômetro acoplados ao eixo do motor dos eixos em questão
- transportador de cavacos desligado  
monitoramento: "encoder" ou tacômetro acoplados ao eixo do motor da esteira do transportador de cavacos
- líquido refrigerante desligado  
monitoramento: sensor de fluxo acoplado ao duto do circuito do líquido refrigerante ou "flag" de memória do sistema.
- porta aberta  
monitoramento: chave fim-de-curso, sensor indutivo de proximidade
- torre de ferramentas afastada  
monitoramento: chave fim-de-curso ou sensor indutivo de proximidade.

**4.2.2.9 - Circuito de lubrificação forçada**

***possíveis acidentes:***

- falta de lubrificante  
*causa:* vazamento ou obstrução no circuito hidráulico, pouco lubrificante no reservatório ou problemas com o compressor.  
*consequências:* mau funcionamento do equipamento, com atrito entre as partes móveis (eixos, mancais, guias, etc). Se o problema persistir por um longo período pode causar graves danos ao equipamento.  
nível de risco: 3  
*monitoramento:* pode-se utilizar um sensor de nível no reservatório do lubrificante para monitoramento do nível de líquido e um pressostato diferencial no circuito hidráulico para verificação de problemas de fluxo.

- presença de impurezas no líquido lubrificante

*causa:* problemas com o filtro de óleo

*consequências:* aparecimento de impurezas entre as partes móveis do equipamento, o que causará danos á precisão do mesmo com conseqüente queda de qualidade do trabalho realizado

nível de risco: 3

*monitoramento:* sensor de emissão acústica localizado em certos pontos críticos (de contato entre partes móveis) do equipamento.

#### 4.2.2.10 - Alimentação de energia elétrica

##### ***possíveis acidentes:***

- ausência de uma ou mais fases de energia.

*causa:* interrupção de um ou mais condutores por um acidente qualquer (com seccionamento do mesmo) ou ainda, pela ativação do sistema de proteção.

*consequências:* os motores podem não ser acionados com plena potência (o que muda o modo de operação do sistema) ou ainda, parte do sistema de intertravamento pode ser desativado por falta de alimentação elétrica, o que comprometerá a confiança e a segurança do conjunto como um todo.

nível de risco: 1

*monitoramento:* utilização de disjuntores diferenciais residuais para monitorar desbalanceamentos na rede elétrica ou "flag"s de memória do sistema.

- grande desbalanceamento das 3 fases de alimentação de energia elétrica.

*causa:* sobrecarga em um dos motores, ou ainda, um curto circuito em algum módulo do sistema

*consequências:* os motores acionados sob condições de sobrecarga poderão queimar rapidamente. Sob curto-circuito, os riscos de incêndios serão muito altos.

nível de risco: 1

*monitoramento:* utilização de disjuntores diferenciais residuais para monitorar desbalanceamentos na rede elétrica.



#### 4.2.2.11 - Compressor.

***possíveis acidentes:***

- falta de pressão no circuito pneumático.

*causa:* problemas com o compressor ou vazamento nos dutos do circuito.

*consequências:* perda de pressão nas castanhas da placa e na fixação do contraponto, o que fará com que a peça se solte, além de outros problemas de menor dimensão com todos os outros subsistemas de comando hidráulico ou pneumático.

nível de risco: 1

*monitoramento:* pressostatos em cada ramificação do circuito pneumático

#### 4.2.2.12 - "Hardware" de intertravamento.

***possíveis acidentes:***

- acionamento de comandos inadvertidamente ou não acionamento quando necessário.

*causa:* influencia do ambiente industrial, tais como interferência eletromagnética, umidade relativa do ar, temperatura, vibração, poeira, etc.

*consequências:* todos os tipos de acidentes anteriormente mencionados serão passíveis de ocorrer.

nível de risco: 1

*ação a ser tomada:* providenciar a proteção do sistema de intertravamento contra as influencias do ambiente industrial, tais como as citadas anteriormente.

#### 4.2.2.13 - "Software" de intertravamento

***possíveis acidentes:***

- perda de módulos de programa.

*causa:* modificação de partes da programação por pessoas não autorizadas, ou negligencia da equipe de programação.

*consequências:* todos os tipos de acidentes anteriormente mencionados são passíveis de ocorrer.

nível de risco: 1

*ação a ser tomada:* utilização de chaves de "hardware" e senhas de acesso, linguagem de programação cifrada de conhecimento de poucos integrantes da equipe, manter cópias de segurança atualizadas do sistema completo com documentação de todas as alterações feitas.

- perda de dados do programa.

*causa:* interferência eletromagnética ou falha de alimentação de energia elétrica.

*consequências:* todos os tipos de acidentes anteriormente mencionados são passíveis de ocorrer.

nível de risco: 1

*monitoramento:* utilização de pilhas eletroquímicas para alimentação da memória RAM e blindagem dos circuitos da mesma.

## Capítulo 5 - Modelo para estudo inicial do sistema

O modelo do sistema deve representar seu comportamento dentro de uma faixa de aproximação a ser definida pelo projetista, de acordo com a profundidade das informações desejadas. Conforme o roteiro apresentado no Capítulo 3, serão propostos dois modelos: inicialmente, um para estudo do fluxo de sinais do sistema e a seguir, com base neste modelo estático e no diagrama lógico do processo, um outro modelo mais apurado para finalidades de simulação.

Para esta primeira fase, o sistema pode ser representado pelo modelo ilustrado na Figura 5.1:

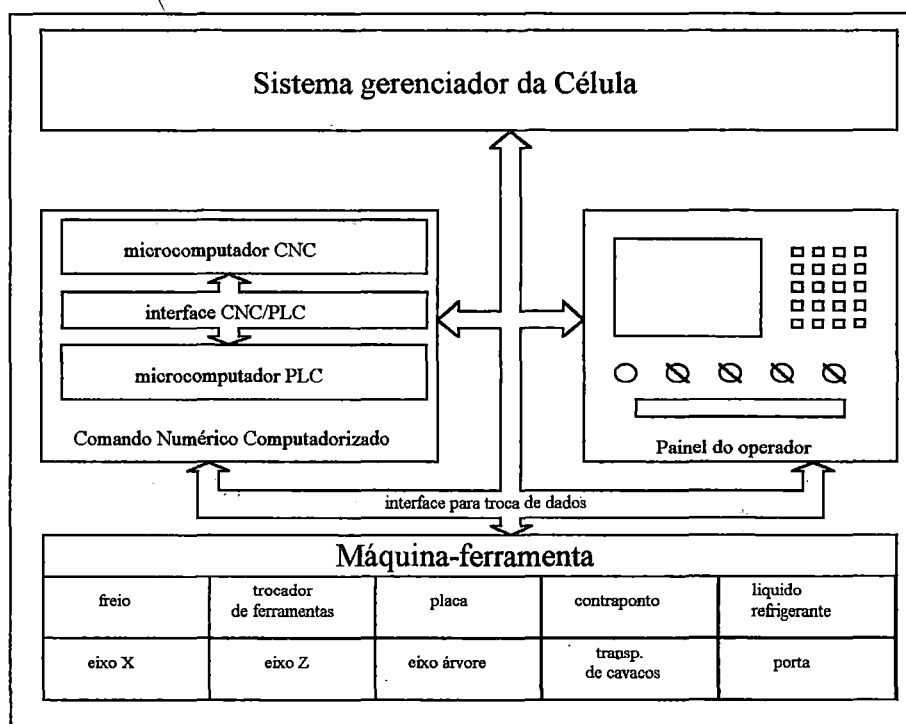


Figura 5.1 - modelo para estudo do fluxo de dados do sistema

Conforme pode-se observar, o modelo proposto tem uma estrutura modular, onde cada um dos módulos tem sua função a executar durante o funcionamento do sistema, e trocam informações entre si obedecendo uma estrutura hierárquica.

Será comentado a seguir cada um dos módulos do sistema, qual a sua função e a estrutura de troca de dados entre eles.

## 5.1 - Os diversos submódulos do modelo proposto

**5.1.1 - Interface Homem Máquina (IHM):** possibilita a interação entre o homem (o operador) e a máquina-ferramenta em questão. É através dela que o operador pode interferir em tempo real no processo de usinagem ou introduzir os programas que serão executados.

Seu principal elemento é o painel do operador, constituído por um monitor de vídeo e um teclado, conforme ilustrado na Figura 5.2 a seguir:

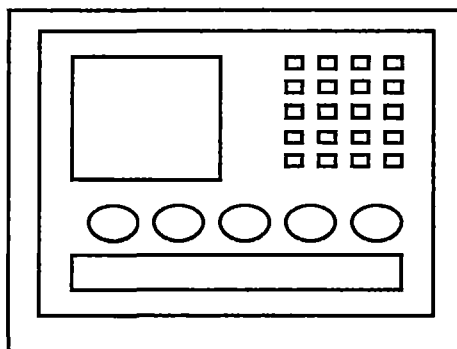


Figura 5.2 - interface homem-máquina

Outros elementos que podem fazer parte do conjunto de Interface Homem-Máquina (IHM) são:

- leitora de fitas perfuradas ou magnéticas;
- impressoras;
- leitora de discos magnéticos;
- etc.

Alguns sistemas mais avançados podem incluir um computador pessoal para executar e/ou gerenciar todas estas funções, sendo que

alguns destes incluem até sistemas de CAD/CAE/CAM com recursos de simulação (RANK, 1983).

**5.1.2 - máquina ferramenta:** É o elemento que atua sobre a peça a ser trabalhada transformando-a em sua constituição física de acordo com os dados do projeto que recebe do sistema IHM, seja diretamente do operador ou através do programa de usinagem.

**5.1.3 - CNC:** É o elemento que realiza o controle de posicionamento e de velocidade dos eixos da máquina-ferramenta. O seu processador é capaz de executar uma série de funções matemáticas, colocando a disposição do usuário a possibilidade de execução de movimentos complexos, tais como trajetórias circulares, elípticas ou helicoidais. O diagrama de blocos a seguir ilustra um sistema constituído por um CNC, a máquina-ferramenta e o sistema IHM (note-se que se trata de um sistema de controle restrito, pois devido a ausência do PLC, não há o intertravamento que possibilita a configuração de uma lógica de segurança para cada sistema em particular)

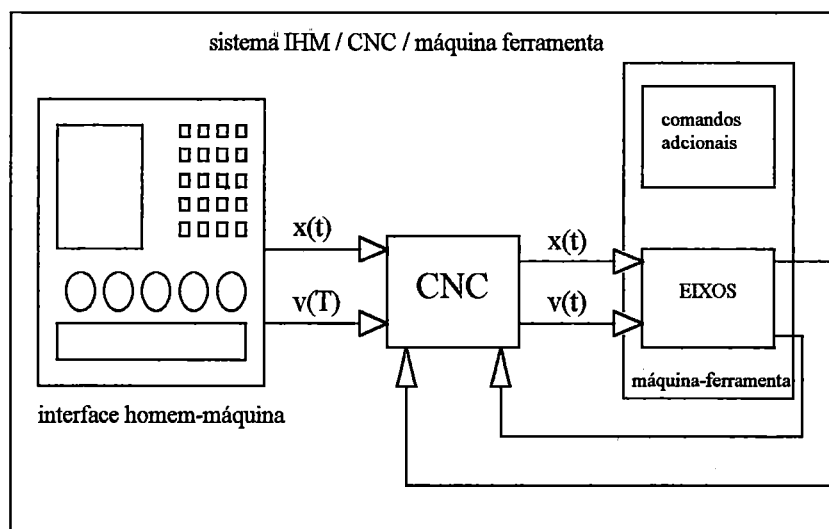


Figura 5.3 - sistema IHM/CNC/máquina-ferramenta

**5.1.4 - O PLC:** realiza a "supervisão" da execução do programa de usinagem pelo CNC, verificando quando cada um dos comandos pode ou não ser executado de acordo com as condições de intertravamento. Controla não somente a usinagem (controle de posição e velocidade dos eixos, giro do eixo-árvore, etc), como também ações complementares

(abertura e fechamento da porta e da placa, refrigeração da peça, a lubrificação dos eixos e mancais, avanço e recuo do contraponto, etc). A Figura 5.4 a seguir ilustra o sistema CNC completo, contendo o CNC, o PLC, o sistema IHM e a máquina-ferramenta:

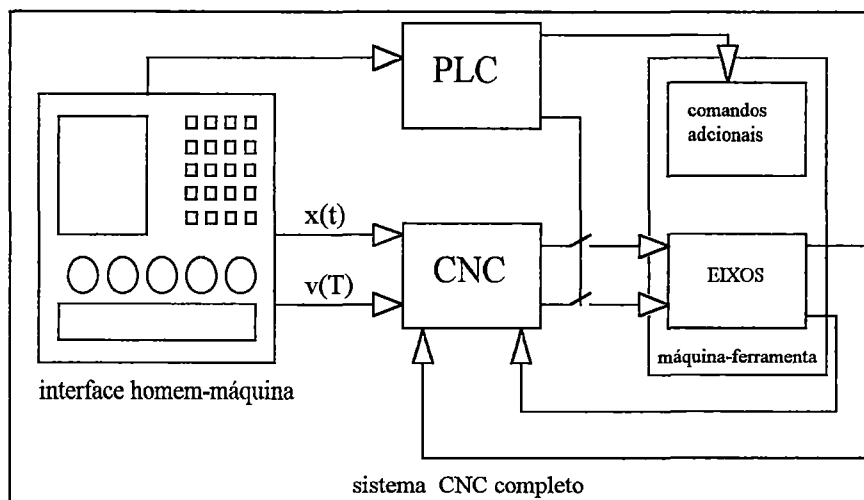


Figura 5.4 - o sistema CNC completo

**5.1.5 - O sistema gerenciador da célula:** Este módulo está presente apenas em sistemas de manufatura Integrados por Computador (CIM). Realiza todas as funções do IHM porém de uma localização remota, geralmente fora do chão de fábrica, o que faz com que sua presença e o IHM não sejam excludentes. Inclui também um sistema de processamento de dados que realiza a comunicação e a troca de dados e programas com outros elementos da célula (RANK, 1983).

## 5.2 - Trocas de dados entre os diversos submódulos

**5.2.1 - PLC X CNC:** a troca de dados entre o PLC e o CNC é realizada através de uma área de memória RAM, e os dados são trocados na forma de "flags" (1 "bit"), de "bytes" ou ainda, de palavras (2 "bytes") de memória. Alguns desses dados podem ser ou não parametrizados na inicialização da máquina, porém a grande maioria é de informações temporárias geradas durante a execução do programa do usuário (o programa da peça usinada) e pelo programa da máquina (o intertravamento); tais como:

- Endereços de I/O do PLC utilizados pelo sistema operacional: estes endereços são utilizados pelo sistema operacional durante o período em que o sistema estiver ativo e não devem ser utilizados para outros fins pelo programador do PLC, pois isso pode causar perda de dados.

Tabela 5.1 - sinais de entrada e saída trocados entre PLC e CNC

<b>Entradas do PLC vindas do CNC</b>
eixo-árvore ligado
eixo-árvore dentro da faixa de tolerância
eixo-árvore parado
limite de velocidade atingido
eixo X em movimento
eixo X referenciado
eixo Z em movimento
eixo X referenciado
<b>Saídas do PLC para o CNC</b>
teclado inibido
eixo-árvore habilitado
eixo X habilitado
eixo Z habilitado

- "flags" para comunicação - funções M e T.

As funções T, inseridas pelo programador no programa de usinagem, ou introduzidas diretamente através do painel do operador realizam a solicitação de troca de ferramenta, e seu valor pode variar de 1 a 14, que é o número de ferramentas disponíveis.

As funções M ou funções Miscelânea como são chamadas, podem enviar ao PLC informações a respeito dos comandos possíveis e que não digam respeito ao controle de velocidade e posição dos eixos (funções realizadas pelas funções G) e são padronizadas pela norma ISO 6983. No modelo proposto, estas são configuradas de forma que há a possibilidade de total substituição do painel do operador pelo conjunto de funções M (ou seja: possibilidade de operação completa do sistema de forma remota, através do sistema de gerenciamento da célula).

Tabela 5.2 - sinais trocados entre PLC e CNC: funções M

<b>FUNÇÕES M:</b>
M 00 parada programada do programa
M 01 parada opcional do programa
M 02 fim de programa
M 03 liga eixo-árvore no sentido horário
M 04 liga eixo-árvore no sentido anti-horário
M 05 desliga do eixo-árvore e liquido refrigerante de corte
M 06 confirmação do operador
M 07 liga liquido refrigerante de corte (névoa)
M 08 liga liquido refrigerante de corte (jato)
M 09 desliga liquido refrigerante de corte
M 10 prende peça
M 11 solta peça
M 12 liga compressor
M 13 liga liquido refrig. e eixo-árvore no sentido horário
M 14 liga liq. refrig. e eixo-árvore no sentido anti-horário
M 15 avança contraponto
M 16 recua contraponto
M 17 fim de subrotina
M 18 referencia os eixos
M 19 parada orientada do eixo-árvore
M 20
M 21 liga transportador de cavacos
M 22 desliga transportador de cavacos
M 24 habilita eixo-árvore
M 25 desabilita eixo-árvore
M 26 habilita avanços
M 27 desabilita avanços
M 28 abre porta de alimentação do torno
M 29 fecha porta de alimentação do torno
M 30 fim de programa sem retrocesso de fita
M 31 libera eixo-árvore (desativa freio)
M 32 aciona freio

**5.2.2 - PLC X IHM:** os dados trocados entre o PLC e a Interface Homem-Máquina tem o objetivo de permitir ao operador tomar conhecimento da situação em que se encontra o sistema, se existe algum problema na execução do programa de usinagem, para verificação do status da máquina ou mesmo emissão de relatórios sobre a execução do programa.

Os principais são:

- "flags" de mensagens ao operador: Estes "flags" são utilizados pelo programa de intertravamento para enviar ao operador mensagens sobre o "status" do processo de usinagem. Eles são detectados pelo



sistema operacional e é exibida a no monitor de vídeo a mensagem correspondente:

Tabela 5.3 - sinais trocados entre PLC e IHM: alarmes ao operador

<b>Flags para mensagens ao operador:</b>
falha de energia elétrica
falha no circuito de lubrificação
falha no circ. hidráulico
falha no circ. do liq. refrigerante
pedido de confirmação para contornar o intertravamento
avanço eixo X ativado
avanço eixo Z ativado
eixo-árvore ligado
transp. de cav. ligado
liq. refrigerante ligado
porta aberta
porta fechada
freio ativado
peça solta
torre não posicionada
eixo-árvore desabilitado
eixo-árvore fora da faixa de tolerância
velocidade máxima excedida
avanços ativados
eixo-árvore desligado
ferramenta errada
troca realizada
modo emergência ativo
watch dog timer ativado
eixos referenciados
eixo Z referenciado
eixo X referenciado
referenciamento dos eixos

- "flags" de "status": através destes, pode ser visualizado na tela do painel do operador qual o estado das diversas variáveis do processo de usinagem.
- Portas de I/O: além dos "flags" acima citados também fazem parte da interface PLC X IHM um grande número de outros sinais que no entanto não devem ser alterados pelo programador, tais como por exemplo, endereços de I/O para o painel do operador do CNC, para o painel da máquina-ferramenta e para as portas de entrada e saída de dados (entrada e saída de dados e programas, impressora, etc), e comandos de atuação.

**5.2.3 - PLC X máquina ferramenta:** a troca de dados entre o PLC e a máquina-ferramenta é executada através dos módulos de I/O do PLC, através dos quais este pode ler qual o estado dos diferentes elementos do sistema e atuar sobre eles de acordo com a programação armazenada. Os endereços de entrada e saída considerados são:

Tabela 5.4 - sinais de entrada do PLC vindos da máquina-ferramenta e de IHM

<b>Entradas do PLC:</b>
sensor porta fechada
sensor porta aberta
sensor contraponto avançado
sensor contraponto recuado
bóia de nível do liq. refrigerante
pressostato do circuito do líq. refrigerante
bóia de nível do circuito hidráulico
pressostato do circuito hidráulico
bóia de nível do lubrificante
pressostato do circuito de lubrificação
pressostato do circuito pneumático
sensor para presença da fase 1 de eletricidade
sensor para presença da fase 2 de eletricidade
sensor para presença da fase 3 de eletricidade
fim-de-curso positivo do eixo X
fim-de-curso negativo do eixo X
fim-de-curso positivo do eixo Z
fim-de-curso negativo do eixo Z
fim- de-curso 1 da placa do eixo
fim- de-curso 2 da placa do eixo
sensor freio acionado
sensor torre afastada
botão de emergência
identificação da ferramenta - "bit" menos significativo
identificação da ferramenta - segundo "bit"
identificação da ferramenta - "bit" mais significativo
identificação da ferramenta - suporte
comando para abrir porta
comando p/afastar contraponto
comando para prender peça
comando para soltar peça
comando para ligar transp. cav.
comando para ligar liq. refri.
comando para acionar freio
confirmação do operador
reset das confirmações
ferramenta encaixada corretamente no suporte

Tabela 5.5 - saídas do PLC para a máquina-ferramenta

<b>Saídas do PLC:</b>
liga transportador de cavacos
liga líquido refrigerante
habilita avanço X
habilita avanço Z
abre porta
solta peça
recua contraponto
habilita eixo-árvore
sentido horário
setido anti-horário
saída sinal de emergência
liga compressor
aciona freio do eixo-árvore
indexa trocador de ferramentas
desindexa trocador de ferramentas
suporte de ferramentas 2 acionado

**5.2.4 - PLC X Gerenciador da Célula:** a troca de dados entre o PLC e o gerenciador da célula é executada através dos módulos de I/O do PLC, e todos os dados trocados entre o PLC e os outros módulos estão incluídos neste Ítem.

## **Capítulo 6 - Desenvolvimento do diagrama lógico do processo**

Neste Capítulo será desenvolvido o diagrama lógico do processo, que de acordo com o roteiro apresentado anteriormente no Capítulo 3 será constituído por um diagrama booleano que representa as relações lógicas para comando dos módulos do sistema . Este diagrama lógico deve ser desenvolvido tomando por base as considerações apresentadas no início do Capítulo 3, no estudo de riscos e operacionalidade do Capítulo 4 e no modelo do sistema proposto no Capítulo 5.

### **6.1 - Considerações prévias ao desenvolvimento do diagrama booleano da lógica do processo**

Deve-se antes de iniciar a execução do diagrama lógico realizar uma análise detalhada das considerações apresentadas no Capítulo 3 e qual a real necessidade para cada caso em particular, da implementação de cada um dos itens . No projeto em questão, o fabricante do equipamento (MAXITEC) já atende de forma satisfatória algumas dessas considerações, e outras, mais específicas devem atendidas pelo próprio projetista no decorrer do desenvolvimento do sistema.

Sendo assim, adota-se a seguinte abordagem:

#### **6.1.1 - Considerações atendidas pelo fabricante do equipamento:**

O sistema, comercializado pela Maxitec é projetado para resistir às condições ambientais típicas de ambientes industriais (Ítem 3.2.5): vem acoplado em um bastidor onde os diversos módulos são encaixados em slots apropriados e posteriormente parafusados. Desta

forma, o mesmo pode enfrentar sem maiores problemas variações dentro de uma faixa de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, interferências eletromagnéticas, vibração mecânica e poluição comuns ao ambiente de chão de fábrica.

Possui ainda, uma chave geral de emergência (Ítem 3.2.1) que pode ser acionada através do painel do operador, ou ainda logicamente através do programa de intertravamento; monitoramento automático de falhas internas (Ítem 3.2.2) que são comunicadas ao operador através do monitor de vídeo da interface homem-máquina.

Devido à própria configuração do sistema, onde o intertravamento é realizado pelo PLC, e outras funções de controle são configuradas em "hardware" ou realizadas pelo CNC, está também observada a condição de separação dos circuitos de intertravamento dos outros circuitos eletrônicos de controle (Ítem 3.2.13).

Ainda com respeito à constituição do sistema, o pacote de "software" TP 888 impõe ao projetista uma estrutura modular de programação (Ítem 3.2.11), com o programa constituído por diversos módulos. Outra característica intrínseca ao pacote TP 888, é a possibilidade de limitação de acesso á modificações no "software" (Ítem 3.2.9), visto que o mesmo exige a conexão de uma chave de hardware, para entrar em operação.

#### **6.1.2 - Considerações não atendidas pelo fabricante do equipamento:**

Há, no entanto, outras considerações apresentadas e não satisfeitas pelo fabricante do equipamento, e que devem ser atendidas pelo projetista (se este, após uma análise de cada caso, julgar que haja necessidade):

- implementação de uma lógica de segurança (Ítem 3.2.4): será adotada uma estrutura lógica para o sistema tal que uma falha em um componente qualquer não conduza-o a um estado de potenciais riscos. Tanto no caso das entradas como das saídas, será adotado o nível lógico "1" para a condição segura de cada uma das variáveis, de forma que quando houver uma falha qualquer, o intertravamento assuma que existe uma condição de

risco, e desta forma conduza imediatamente o sistema para um estado seguro.

- adoção de uma estrutura modular de programação (Ítem 3.2.11): os diversos blocos do programa são agrupados em módulos de acordo com as funções executadas por cada um deles no intertravamento, de forma facilitar o acompanhamento ou manutenção do programa. Estes módulos são comentados a seguir:

- . módulo operacional - contém os blocos responsáveis pelo suporte ao funcionamento adequado do sistema, sem as funções lógicas do intertravamento: o bloco de decodificação do painel do operador, o bloco de decodificação das funções M, o bloco de monitoramento de situações de emergência e o bloco de inicialização do sistema.

- . o módulo de I/O - também sem funções na lógica de intertravamento: contém o bloco de comunicação com o gerenciador da célula, de interface com o operador (que envia mensagens através do painel da IHM), e o bloco de comandos para os diversos subsistemas que compõem a máquina-ferramenta.

- . o módulo lógico - contém o programa de intertravamento propriamente dito, com toda a lógica de comando dos diversos subsistemas que compõem a máquina-ferramenta.

- estabelecimento de condições iniciais seguras (Ítem 3.2.6) - será implementado um bloco de inicialização que deve ser ativado sempre que o sistema for inicializado e que será responsável pelo estabelecimento de tais condições. Este bloco de programa fará o referenciamento dos eixos, e efetuará os seguintes procedimentos:

- . fechar a porta de alimentação do torno;
- . prender peça;
- . avançar contraponto;
- . desligar líquido refrigerante de corte;
- . desligar a esteira do transportador de cavacos, etc.

- "watch dog timers" externos (Ítem 3.2.7) - em todos os blocos de programa responsável pelo acionamento de um dos submódulos do sistema serão colocados 1 ou mais "watch dog timers", que

terão a função de monitorar o tempo gasto na execução de um comando (normalmente, por volta de 15 segundos).

Se a execução deste comando ocorrer dentro do intervalo de tempo, então o "watch dog timer" será desativado pelo sinal vindo de um sensor que monitora o estado deste elemento do sistema. Caso contrário, se o tempo decorrido for suficiente para o disparo do "watch dog timer", o mesmo será ativado e o gerenciador da célula receberá o sinal correspondente, de forma que os outros componentes do FMS não sofram problemas de sincronismo.

- controle sobre a documentação (Ítem 3.2.10) - este controle deve ser exercido por uma determinada pessoa que encarregue-se não somente de manter a integridade da documentação, mas também sua atualização (todas as modificações introduzidas no sistema desde a sua implantação deverão estar detalhadamente documentadas). No presente caso, isto será facilitado pelo acesso restrito às modificações no "software": o controle sobre a chave de hardware garante também o controle sobre a atualização da documentação.
- instalação elétrica de segurança (Ítem 3.2.3) - a cada um dos circuitos de potência do sistema (principalmente aqueles responsáveis pela alimentação de motores elétricos) será acrescentado um conjunto de dispositivos de segurança que poderá ser composto de um disjuntor, fusíveis para cada uma das fases, varistores, além do aterramento adequado para cada caso

As outras considerações apresentadas (redundância de componentes e da fonte de alimentação), uma análise de sua relação custos/benefícios e das dimensões das consequências de sua não aplicação levam à conclusão que não há necessidade da adoção de medidas deste tipo no sistema em consideração.

Nas páginas a seguir serão apresentados os diagramas booleanos que expressam as relações lógicas de intertravamento entre os estados dos diversos componentes do sistema para a execução de cada um dos comandos que possam ser enviados à máquina-ferramenta e que compõem o módulo lógico de programação, anteriormente citado no Ítem 6.1.

## 6.2 - Bloco de comando do freio do eixo-árvore.

O diagrama lógico de comando do freio do eixo-árvore, ilustrado na Figura 6.1 mostra o fluxo de sinais para o acionamento do mesmo. No início do bloco é disparado pelo pedido de acionar ou desativar o freio do eixo-árvore, o "watch dog timer" do bloco. Se o comando for executado dentro de um intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será desativado por um sensor que indica a posição as garras do freio da placa. Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de acionar o freio do eixo-árvore deverá ser atendido somente se a condição de intertravamento (motor do eixo-árvore desligado) estiver satisfeita.

No caso desta condição não estar satisfeita, será então ativado o alarme correspondente na IHM, e uma série de medidas serão então desencadeadas:

- é enviado um comando para desligar o motor do eixo-árvore, os motores dos avanços dos eixos X e Z e o circuito do líquido refrigerante de corte;
- simultaneamente á ação acima descrita, ativa-se um temporizador para fornecer um pequeno atraso de forma que após o desligamento destes subsistemas haja tempo para diminuição da inércia de movimento dos mesmos antes do acionamento do freio do eixo; e
- após decorrido este pequeno atraso anteriormente citado, é então enviado o comando para ativar o freio do eixo-árvore.

Para o comando de desativar o freio (liberar o eixo-árvore) não há nenhuma restrição, e o mesmo será atendido imediatamente após sua solicitação, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando. Há que se frisar ainda que existe no programa de intertravamento uma rotina de inicialização que realiza o comando de liberação do eixo sempre que o sistema é inicializado.



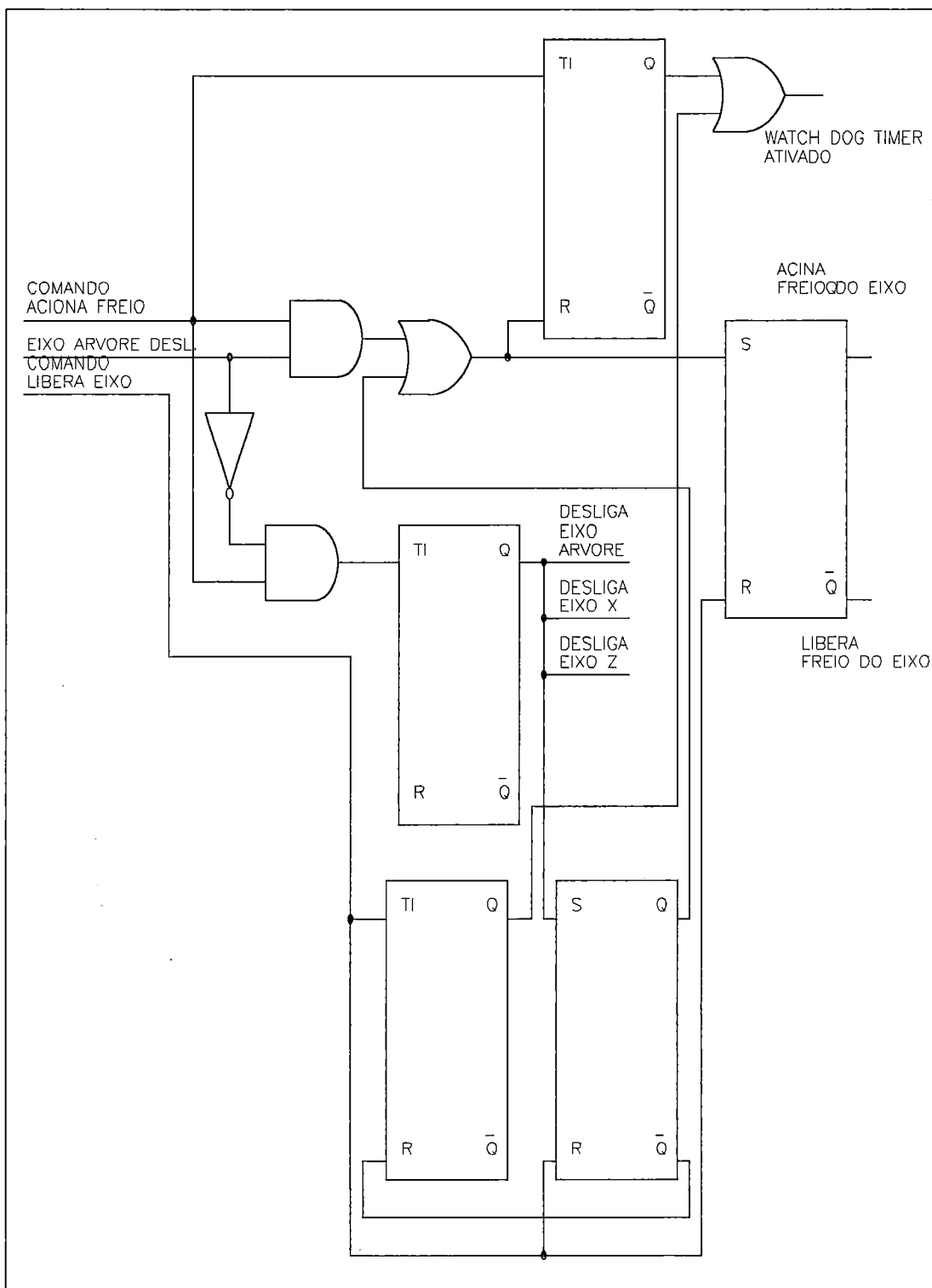


Figura 6.1 - diagrama lógico de comando do freio do eixo-árvore

### 6.3 - Bloco de comando para troca de ferramentas.

A seguir é apresentado o bloco lógico para o comando de troca de ferramenta (Figura 6.3 da página a seguir). Também aqui, no início do bloco é disparado pelo comando de trocar ferramentas o "watch dog timer". Se o comando for executado dentro do intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica presença da ferramenta solicitada em posição de atuação. Caso contrário, o mesmo será ativado por um temporizador e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA" (a Figura 6.2 abaixo mostra o revólver de ferramentas do torno, com 14 posições).

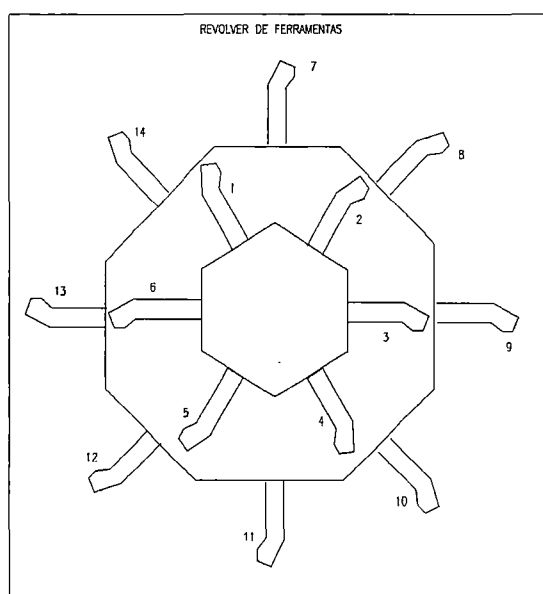


Figura 6.2 - revólver de ferramentas do torno

De acordo com o Capítulo 4, o comando de troca de ferramenta somente deverá ser atendido se a sua condição de intertravamento estiver satisfeita (torre afastada).

No caso desta condição não estar satisfeita, será então ativado o alarme correspondente na IHM. Se o sistema estiver operando na presença de um operador será então emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Assim, havendo uma resposta positiva será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou a condição anteriormente citada estiver satisfeita, será então ativado comando para trocar a

ferramenta atuante, que ativará o bloco de programa correspondente cuja estrutura lógica é ilustrada no fluxograma da Figura 6.4.

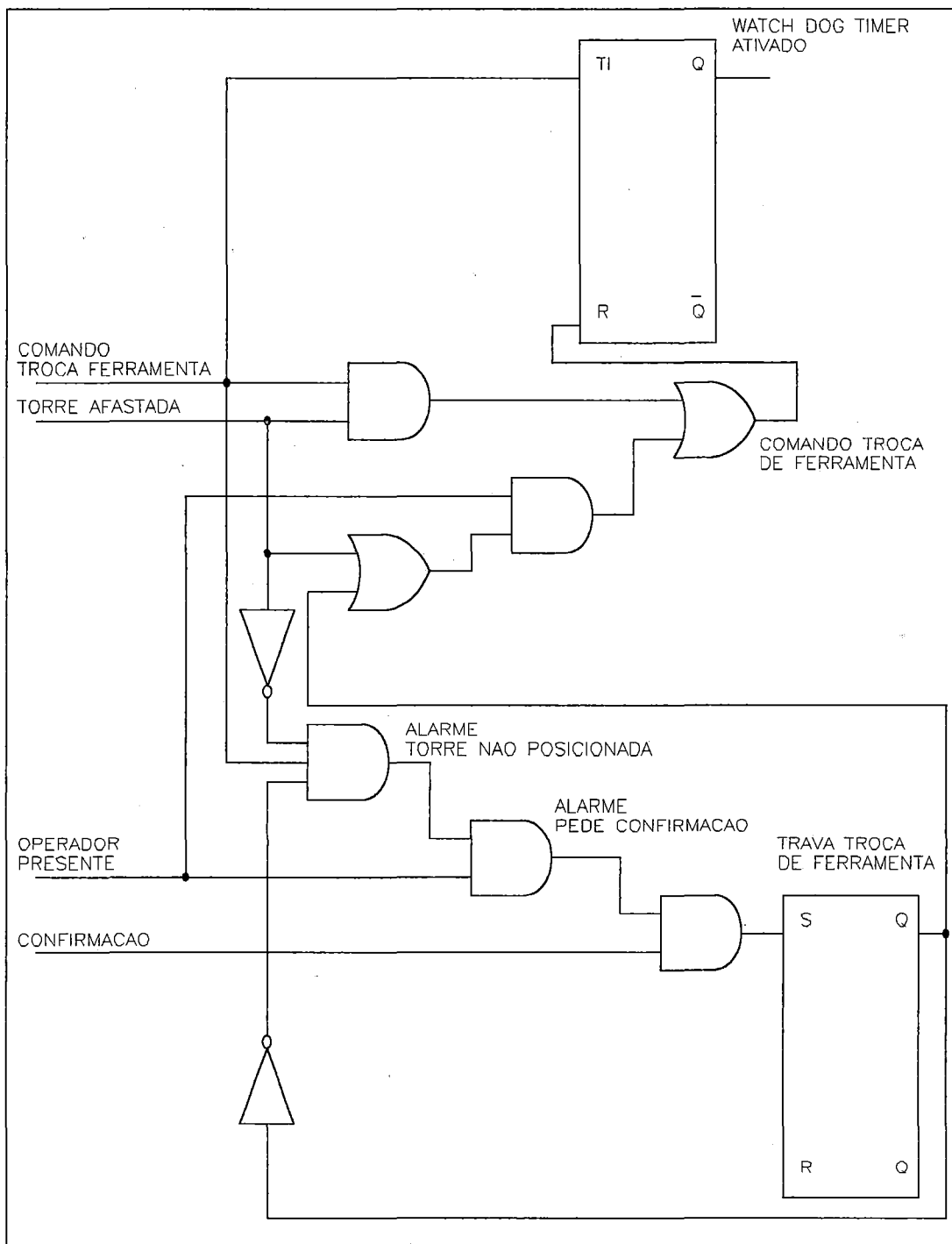
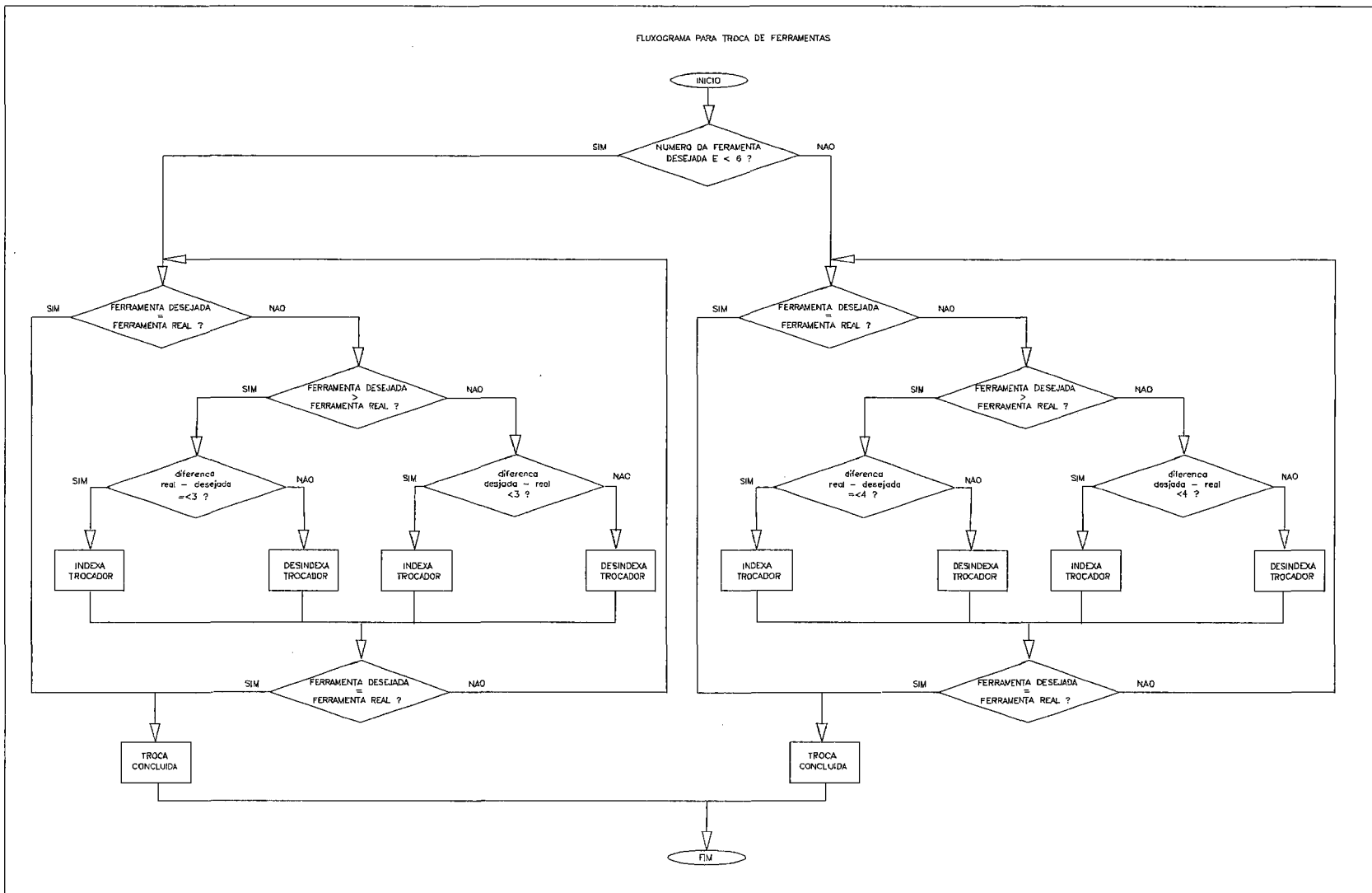


Figura 6.3 - diagrama lógico para acionamento do comando do trocador de ferramentas



Figura 6.4 - lógica do comando do trocador de ferramentas



#### **6.4 - Bloco de comando da porta de alimentação do torno.**

Na Figura 6.5 está ilustrado o bloco lógico para o comando de abrir e/ou fechar a porta de alimentação do torno. Também aqui, no início do bloco é disparado pelo comando de abrir a porta o respectivo "watch dog timer". Se o comando for executado dentro de um intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica qual o estado da porta (aberta ou fechada). Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de abrir a porta somente deverá ser atendido se algumas condições de intertravamento estiverem satisfeitas:

- transportador de cavacos desligado;
- eixo-árvore desligado;
- eixos X e Z não acionados ; e
- Líquido refrigerante desligado

No caso de alguma destas condições não estar satisfeita, será então ativado o alarme correspondente na IHM. Se o sistema estiver operando na presença de um operador e for esta for uma condição cujo intertravamento possa ser contornado, será então emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Assim, havendo então confirmação por parte do operador será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou todas as condições anteriormente citadas estiverem satisfeitas, será ativado comando para abrir a porta.

Para o comando de fechar a porta não há nenhuma restrição, e o mesmo será atendido imediatamente após sua solicitação, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando.

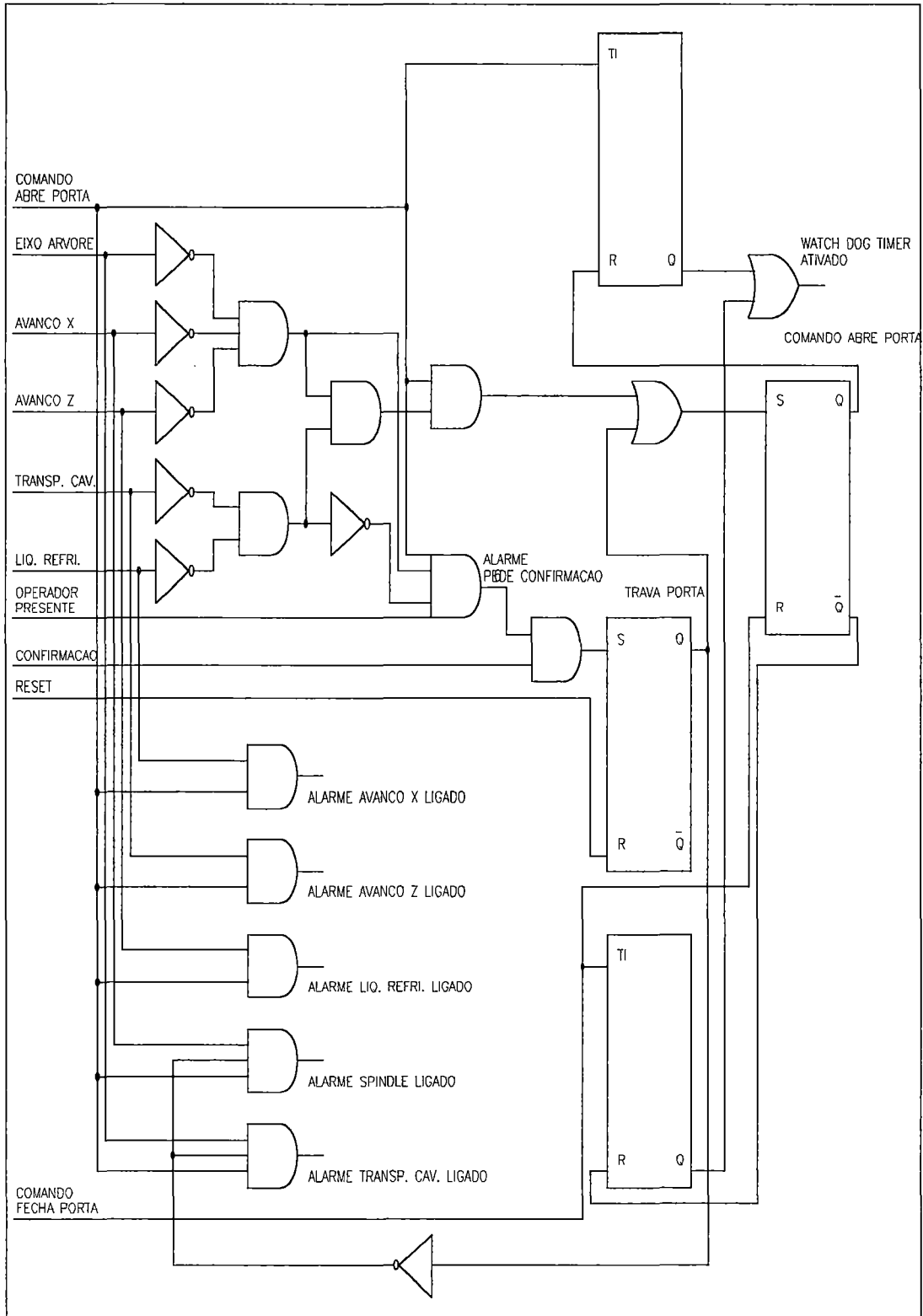


Figura 6.5 - diagrama lógico de comando da porta de alimentação do torno

## 6.5 - Bloco de habilitação de movimentação dos eixos X e Z.

A Figura 6.6 na página a seguir ilustra o bloco lógico para o comando de habilitação dos eixos X e Z. Assim como nos blocos anteriores, no início é disparado pelo pelo sinal "motion command" o "watch dog timer" do bloco. Se o comando for executado dentro de um intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica movimento em um dos eixos. Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de habilitar os eixos X e Z deverá ser atendido somente se algumas condições de intertravamento estiverem satisfeitas:

- eixos X e Z habilitados;
- ferramenta encaixada corretamente no suporte;
- eixo-árvore ligado;
- eixos X e Z referenciados; e
- porta de alimentação do torno fechada.

No caso de alguma destas condições não estar satisfeita, será então ativado o alarme correspondente na IHM. Se o sistema estiver operando na presença de um operador e for esta for uma condição cujo intertravamento possa ser contornado será então emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Assim, havendo uma resposta positiva será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou todas as condições anteriormente citadas estiverem satisfeitas, será então ativado comando para habilitar o movimento dos eixos X e Z.

O movimento dos eixos será interrompido pelo microprocessador do CNC quando os mesmos atingirem as coordenadas programadas ou pelo PLC, quando um dos sensores de fim de curso for atingido ou quando for ativados os sinais "limite de velocidade atingido" ou "eixo fora da faixa de tolerância". Neste caso, o sistema emite um alarme ao operador e ativa o modo "EMERGÊNCIA".

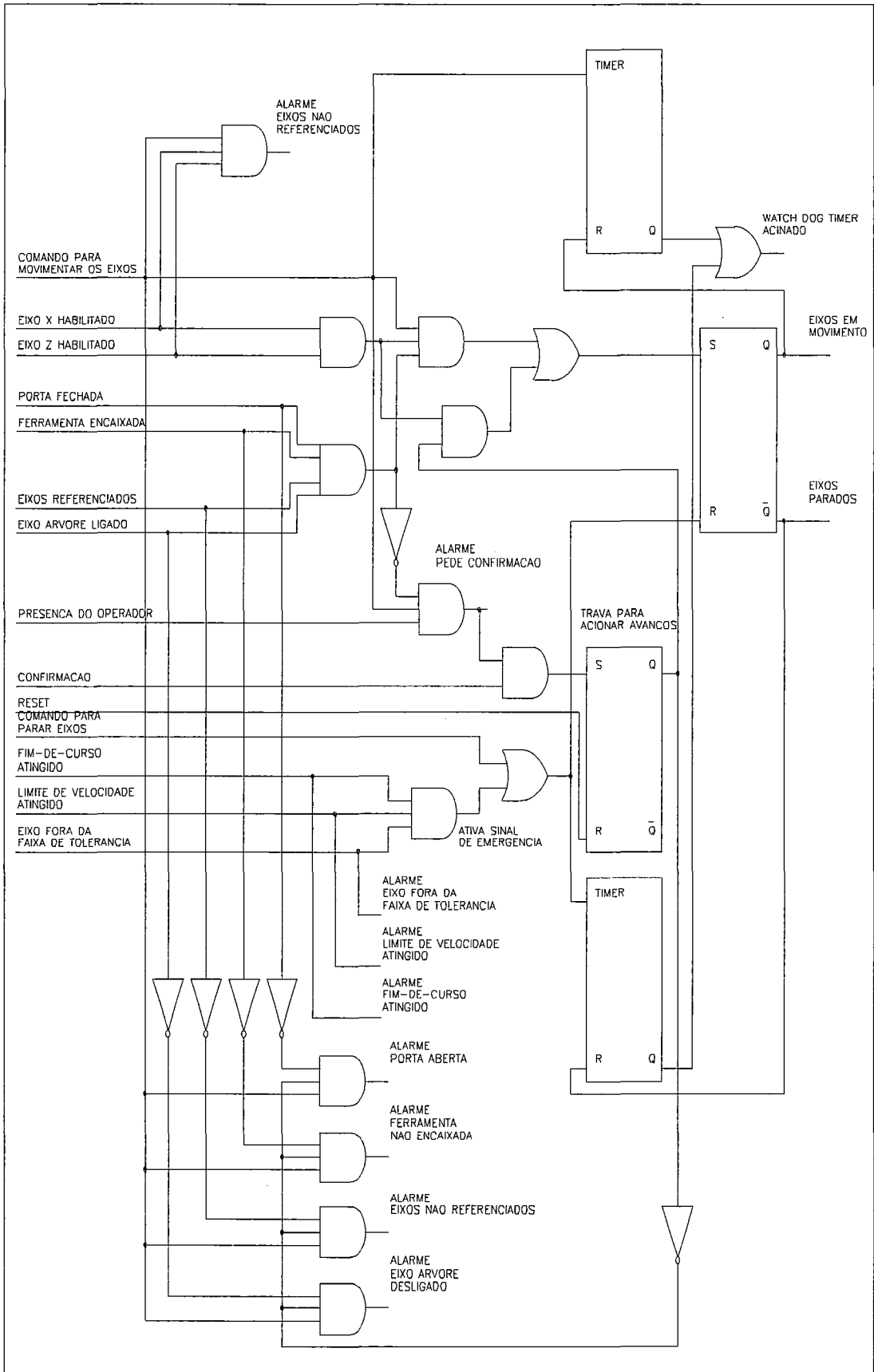


Figura 6.6 - diagrama lógico de comando para movimentação dos eixos X e Z



## 6.6 - Bloco de comando do eixo-árvore.

A lógica do bloco de comandos do eixo-árvore é ilustrada na Figura 6.7. No início será disparado o "watch dog timer" pelo pedido de ligar o eixo-árvore. Se o comando for executado dentro do intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica se há rotação no motor do eixo. Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de ligar o eixo-árvore deverá ser atendido somente se algumas pré-condições estiverem satisfeitas:

- eixo-árvore habilitado;
- freio desativado;
- porta de alimentação do torno fechada; e
- torre de ferramentas afastada.

No caso de alguma destas condições não estar satisfeita, será ativado o alarme correspondente na IHM. Se o sistema estiver operando na presença de um operador e for esta for uma condição cujo intertravamento possa ser contornado, será então emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Havendo uma resposta positiva será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou todas as condições anteriormente citadas estiverem satisfeitas, será então ativado o comando para ligar o eixo-árvore, de acordo com a solicitação (se no sentido horário ou anti-horário).

Para o comando de desligar o eixo, impõe-se a restrição de que o avanço dos eixos X e Z devem estar desativados. No caso desta condição não estar satisfeita, será também ativado o alarme correspondente na IHM, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando.

No entanto, o funcionamento do eixo poderá ser desligado também pelo sistema de intertravamento se for detectada a ativação de pelo menos um dos seguintes sinais: limite de velocidade atingido ou eixo fora da faixa de tolerância.

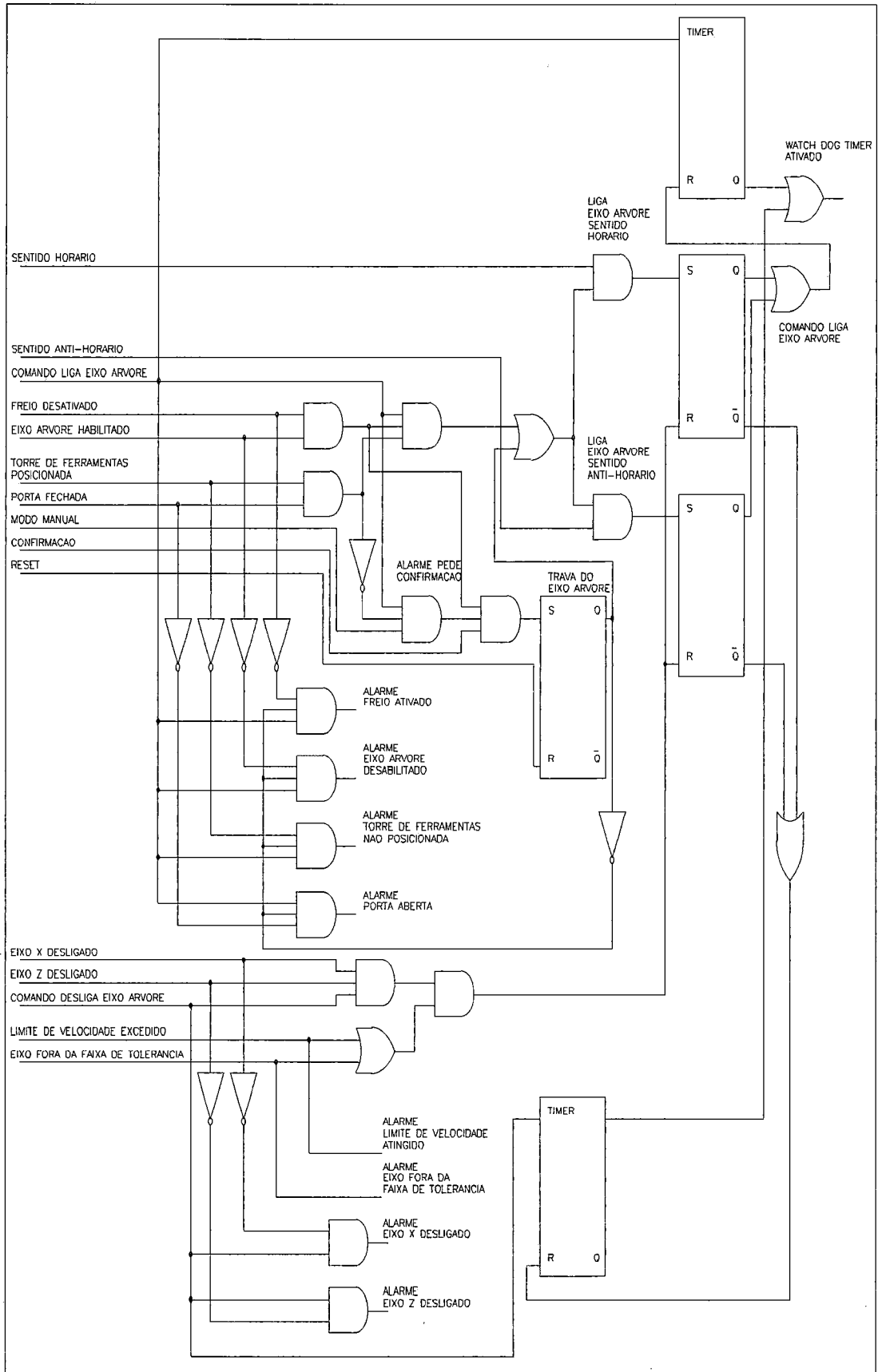


Figura 6.7 - diagrama lógico de comando do eixo-árvore

## **6.7 - Bloco de comando do líquido refrigerante.**

A seguir será apresentado o bloco lógico para o comando do circuito do líquido refrigerante de corte (Figura 6.8). Também aqui, no início do bloco é disparado pelo comando de ligar o líquido refrigerante o respectivo "watch dog timer". Se o comando for executado dentro do intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica existência de fluxo de líquido no circuito hidráulico do refrigerante. Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de abrir a porta somente deverá ser atendido se a sua condição de intertravamento (porta fechada) estiver satisfeita.

No caso desta condição não estar satisfeita, será ativado o alarme correspondente na IHM, e se o sistema estiver operando na presença de um operador será então emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Havendo uma resposta positiva será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou a condição anteriormente citada estiver satisfeita, será então ativado comando para ligar o líquido refrigerante.

Para o comando de desliga-lo, não há nenhuma restrição, e o mesmo será atendido imediatamente após sua solicitação, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando.

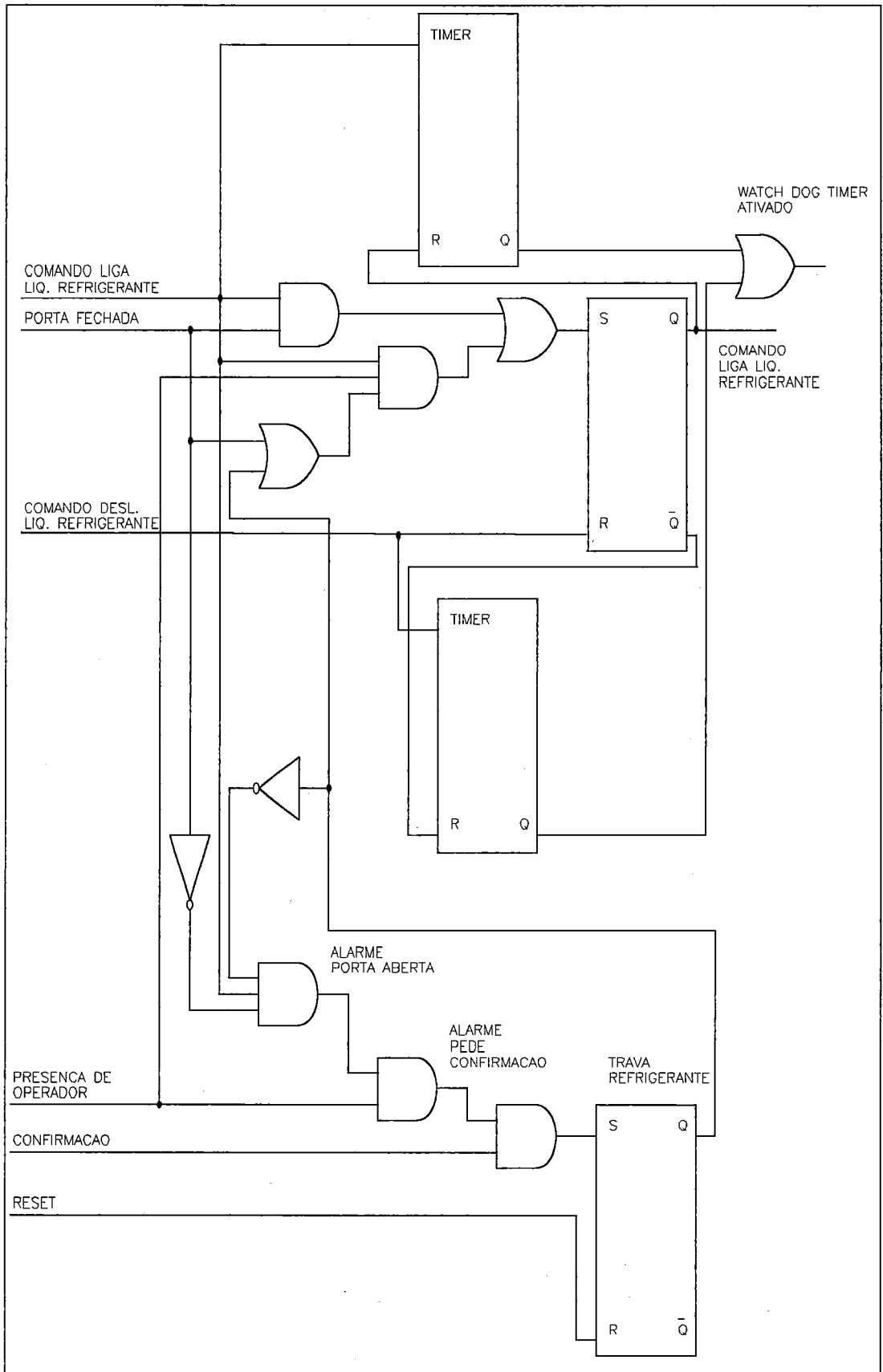


Figura 6.8 - diagrama lógico de comando do circuito do líquido refrigerante de corte

## **6.8 - Bloco de comando do transportador de cavacos.**

A seguir será apresentado o bloco lógico para o comando da esteira do transportador de cavacos (Figura 6.9). Também aqui assim como em todos os outros blocos, no início é disparado o "watch dog timer" do bloco pelo comando para ligar o transportador de cavacos. Se o comando for executado dentro do intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica movimento da esteira transportadora de cavacos. Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de ligar o transportador de cavacos somente deverá ser atendido se a sua condição de intertravamento (porta fechada) estiver satisfeita.

No caso desta condição não estar satisfeita, será ativado o alarme correspondente na IHM, e se o sistema estiver operando na presença de um operador será então emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Havendo uma resposta positiva será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou a condição anteriormente citada estiver satisfeita, será então ativado comando para ligar o transportador de cavacos.

Para o comando de desliga-lo, não há nenhuma restrição, e o mesmo será atendido imediatamente após sua solicitação, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando.

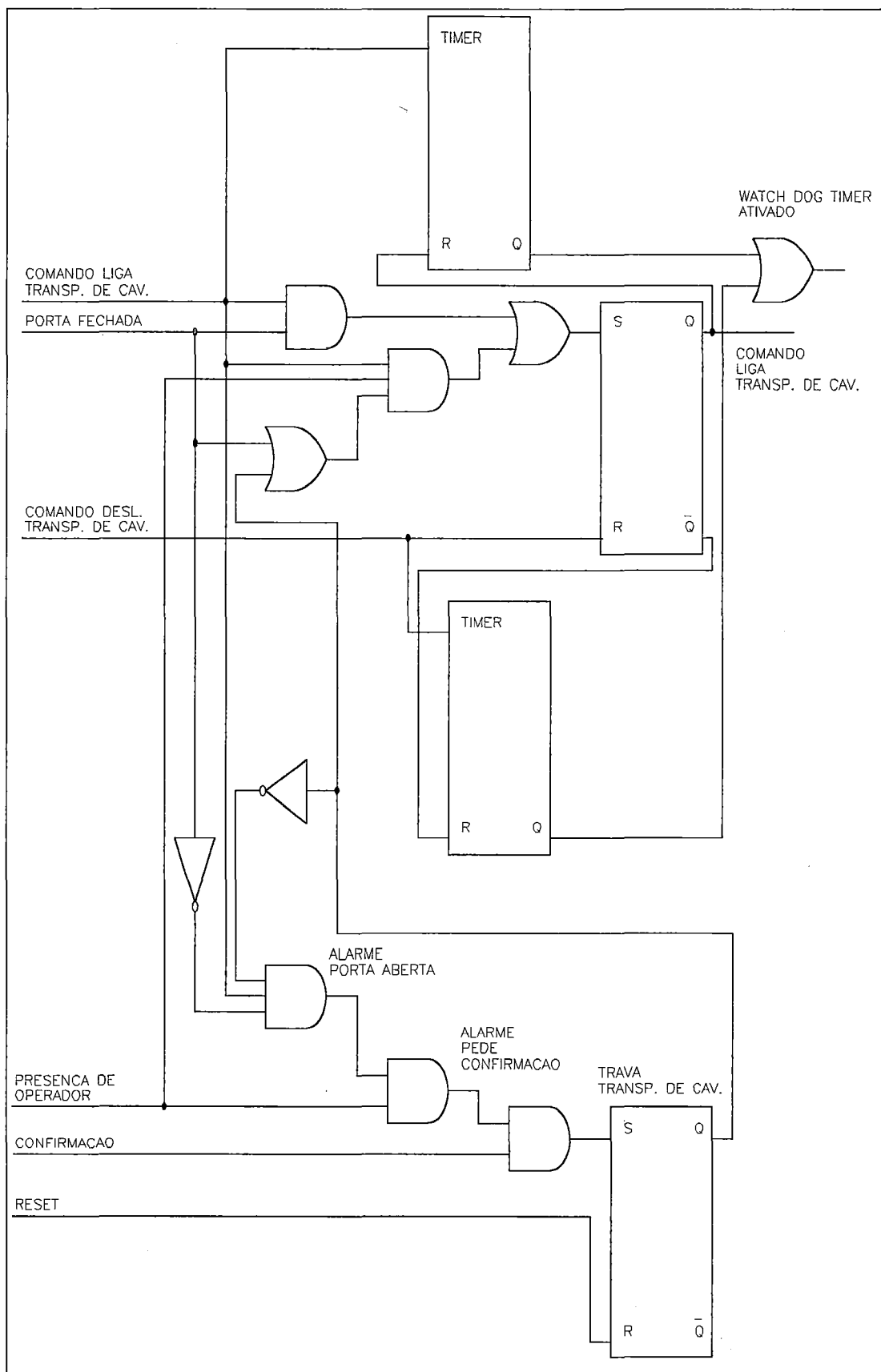


Figura 6.9 - diagrama lógico de comando do transportador de cavacos

## 6.9 - Bloco de comando da placa do eixo-árvore.

O diagrama a seguir (Figura 6.10) ilustra o fluxo de sinais para o acionamento da placa do eixo-árvore. No início do bloco é disparado pelo comando de prender ou soltar a peça, o "watch dog timer" do bloco. Se o comando for executado dentro de um intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica a presença ou não de uma peça presa á placa. Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "emergência".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de soltar a peça deverá ser atendido somente se algumas pré-condições estiverem satisfeitas:

- avanços dos eixos X e Z desligados;
- eixo-árvore desligado;
- líquido refrigerante de corte desligado;
- transportador de cavacos desligado;
- porta de alimentação do torno aberta;
- contraponto recuado; e
- torre de ferramentas afastada.

No caso de alguma destas condições não estar satisfeita, será então ativado o alarme correspondente na IHM. Se o sistema estiver operando na presença de um operador e for esta for uma condição cujo intertravamento possa ser contornado, será emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Havendo então confirmação por parte do operador será ativado um flag (a "trava do intertravamento") que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou todas as condições anteriormente citadas estiverem satisfeitas, será ativado o bloco de comando da placa com o comando de soltar a peça, que é apresentado no fluxograma da página posterior.

Para o comando de prender peça não há nenhuma restrição, e o mesmo será executado imediatamente após ter sido recebido, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando.

Na Figura 6.11 é ilustrada a estrutura lógica de um fluxograma para comando da válvula solenóide que executa a abertura/fechamento da placa do eixo.



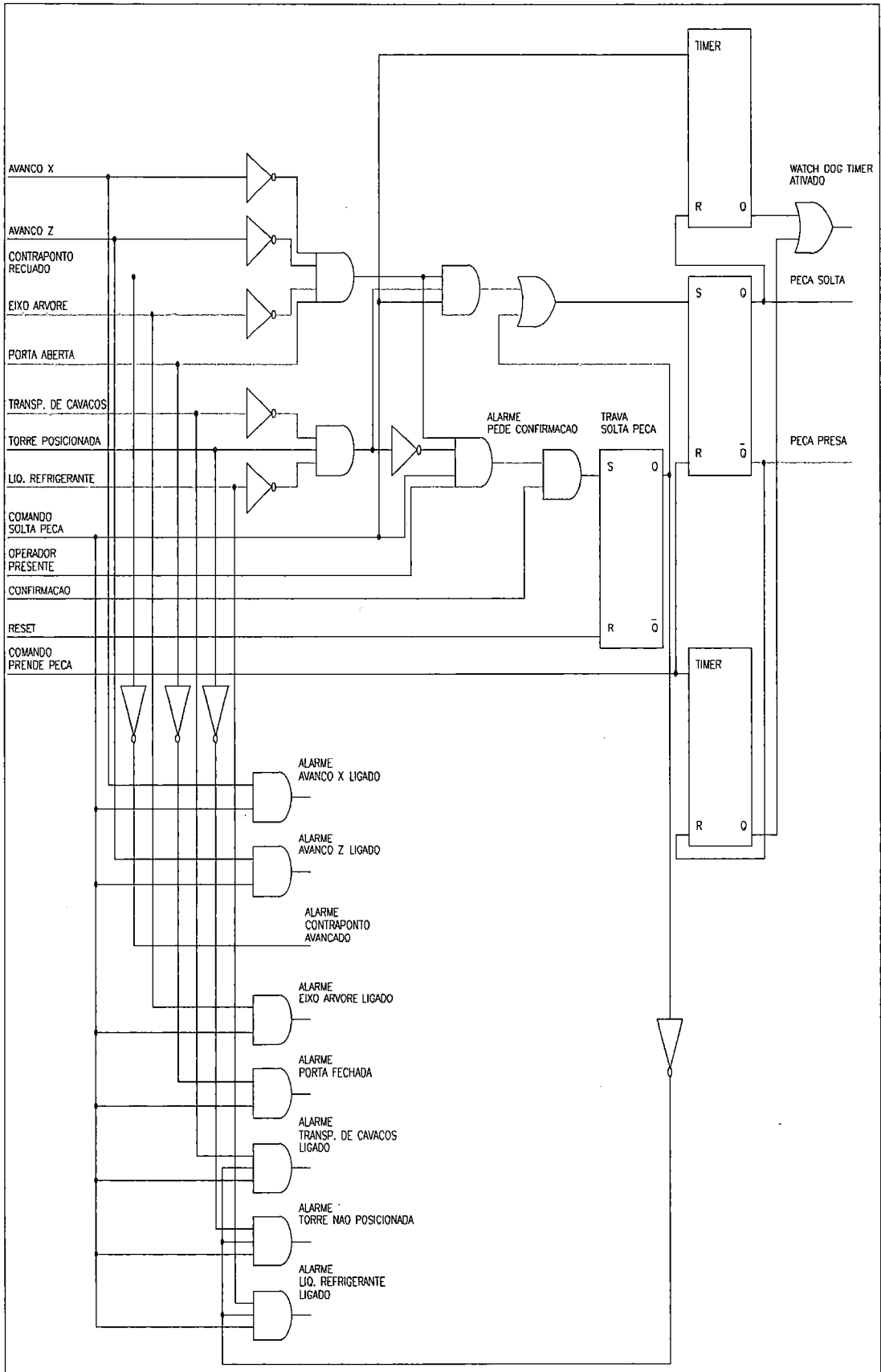


Figura 6.10 - diagrama lógico de comando para ativação do comando da placa

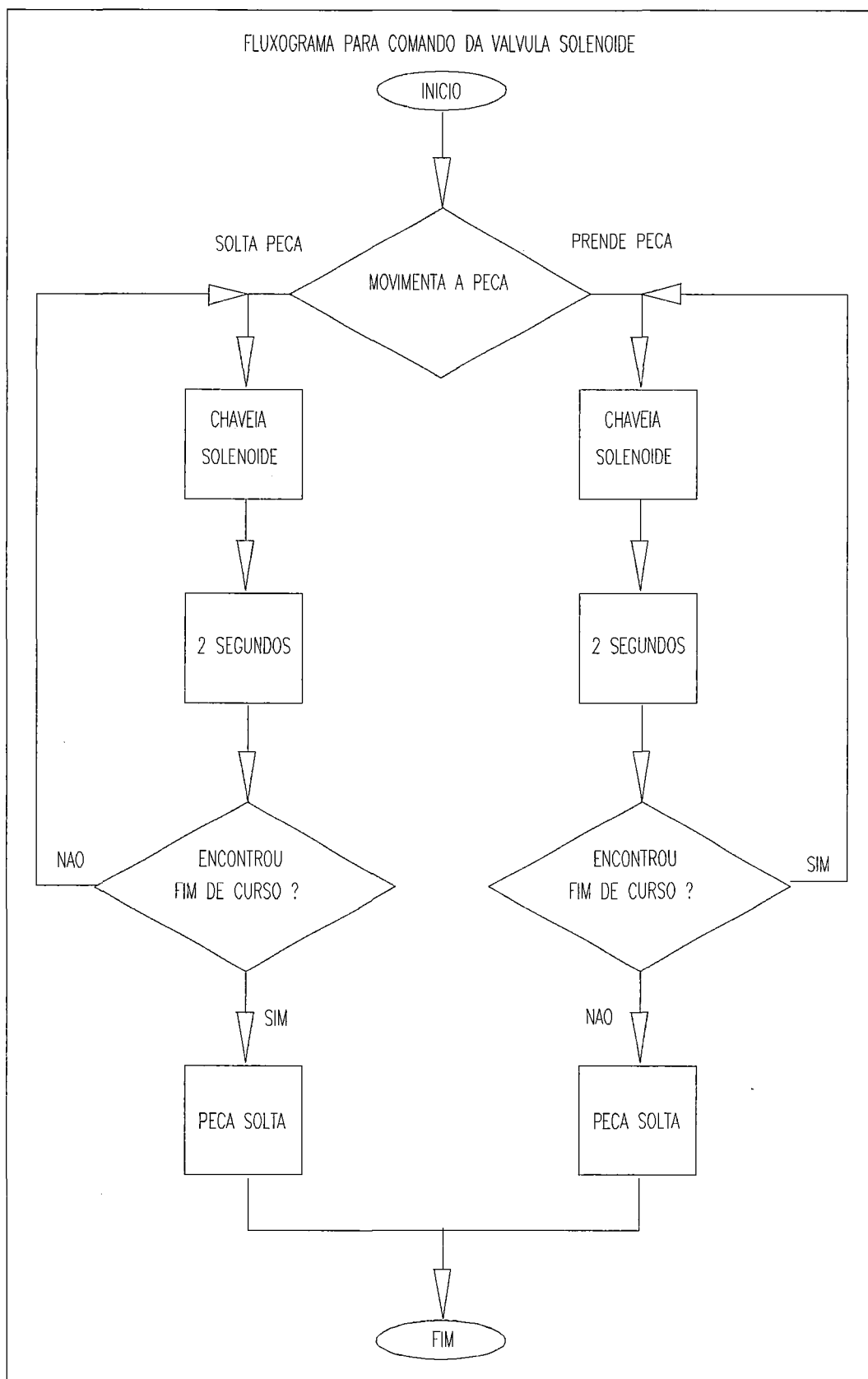


Figura 6.11 - diagrama lógico de comando para movimentação da placa do eixo-árvore

## **6.10 - Bloco de comando do contraponto.**

A lógica do comando para movimentar o contraponto é ilustrada na Figura 6.12. No início do bloco é disparado pelo pedido de avançar ou recuar o contraponto o "watch dog timer" do bloco. Se o comando for executado dentro do intervalo de tempo especificado, o "watch dog timer" será então desativado por um sensor que indica qual a posição do contraponto (se afastado ou avançado). Caso contrário, o mesmo será ativado e o sistema é levado então para o modo "EMERGÊNCIA".

De acordo com o Capítulo 4, o comando de afastar o contraponto deverá ser atendido somente se algumas pré-condições estiverem satisfeitas:

- avanços dos eixos X e Z desligados;
- eixo-árvore desligado;
- líquido refrigerante de corte desligado;
- transportador de cavacos desligado;
- porta de alimentação do torno aberta; e
- torre de ferramentas afastada.

No caso de alguma destas condições não estar satisfeita, será então ativado o alarme correspondente na IHM. Se o sistema estiver operando na presença de um operador e for esta for uma condição cujo intertravamento possa ser contornado será emitido um pedido de confirmação do mesmo para desabilitação desta parte do intertravamento.

Desta forma, havendo uma resposta positiva será ativado um flag (a "trava do intertravamento) que tem a função de permitir que parte do intertravamento seja contornado. Se este flag, ou todas as condições anteriormente citadas estiverem satisfeitas, será então ativado comando para afastar o contraponto.

Para o comando de avançar o contraponto, não há nenhuma restrição, e o mesmo será executado imediatamente após ter sido recebido, sendo que também para este caso há um "watch dog timer" para verificação da execução do comando.

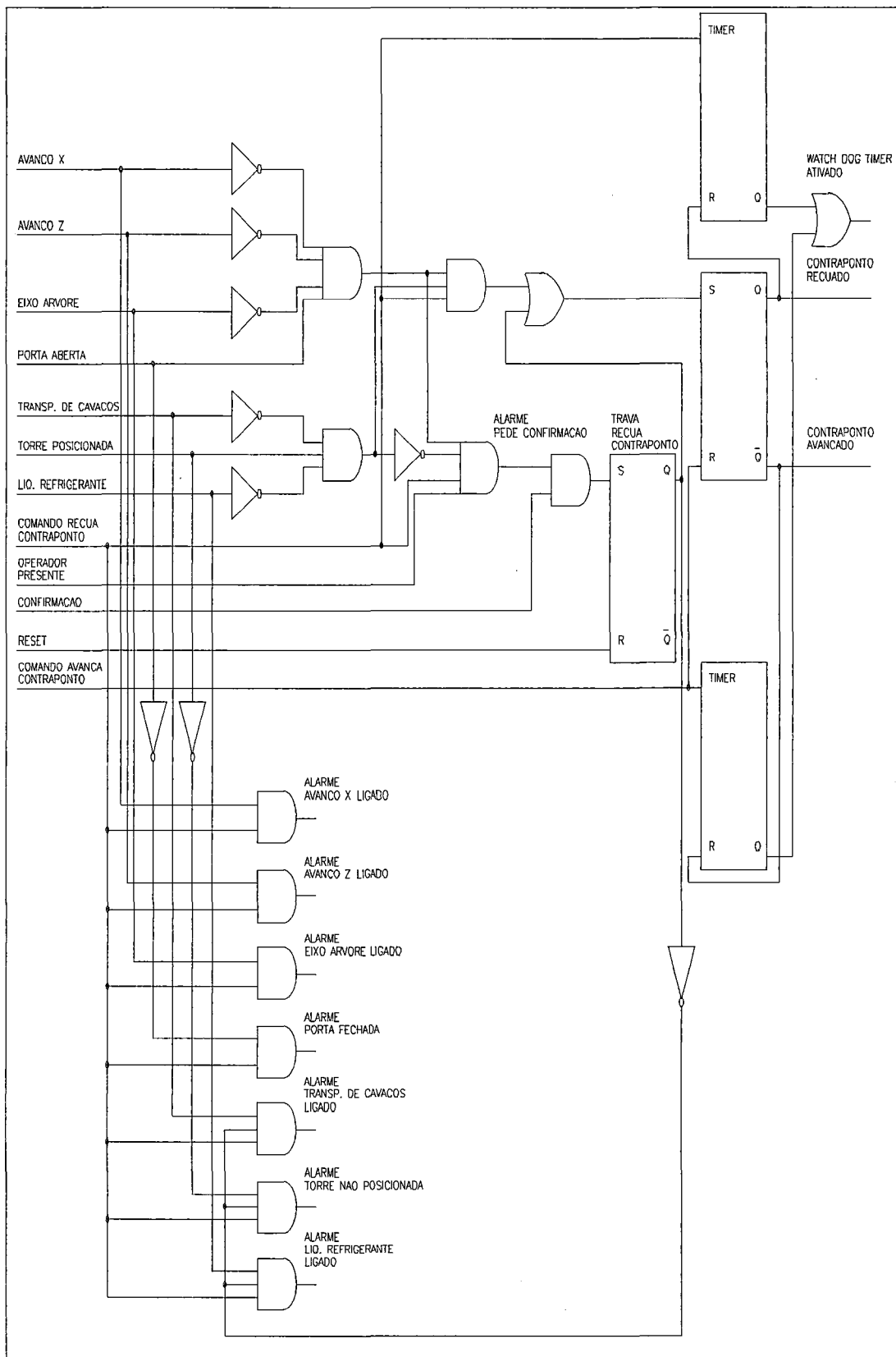


Figura 6.12 - diagrama lógico de comando para movimentação do contraponto

## 6.11 - Bloco de emergência.

Na página seguinte é ilustrada a lógica do bloco de emergência (Figura 6.13), onde são monitorados os sinais dos módulos vitais ao funcionamento seguro do sistema:

- a alimentação de energia elétrica;
- o circuito de lubrificação forçada;
- o circuito hidráulico do líquido refrigerante de corte;
- o circuito hidráulico de acionamentos;
- o circuito pneumático; e
- o sinal NC READY, vindo do CNC que monitora alguns sinais dos motores dos eixos, como por exemplo a temperatura dos mesmos.

Nos casos dos sinais de energia elétrica, NC READY e pressão pneumática, assim que for detectada uma falha, é emitido um alarme ao operador e o sistema levado imediatamente ao modo emergência. Já para os outros três sinais envolvidos neste bloco há um estado intermediário, conforme a descrição a seguir:

Existem dois sensores para monitoramento de cada um dos subsistemas hidráulicos: uma bóia para medição do nível de líquido e um pressostato diferencial para medição da existência e da continuidade do fluxo. No caso da boia ser ativada, indicando nível inadequado de líquido no reservatório, será emitido um alarme ao operador, e mediante a confirmação do mesmo dentro de um intervalo de tempo pré-determinado, dá-se a desabilitação desta parte do intertravamento - caso contrário, será ativado o "watch dog timer" do módulo em questão e o sistema levado para o modo "EMERGÊNCIA". Já se houver detecção de problemas no fluxo do circuito através do pressostato, o sistema é levado imediatamente ao modo "EMERGÊNCIA", também com a emissão de um alarme ao operador, como nos casos anteriores.

No modo emergência, o PLC deve executar as seguintes ações:

- desligar o eixo-árvore;
- desabilitar o avanço dos eixos X e Z;

- desligar o transportador de cavacos;
- fechar a porta;
- prender a peça na placa;
- avançar o contraponto;
- emitir um alarme; e
- abortar o programa de usinagem.

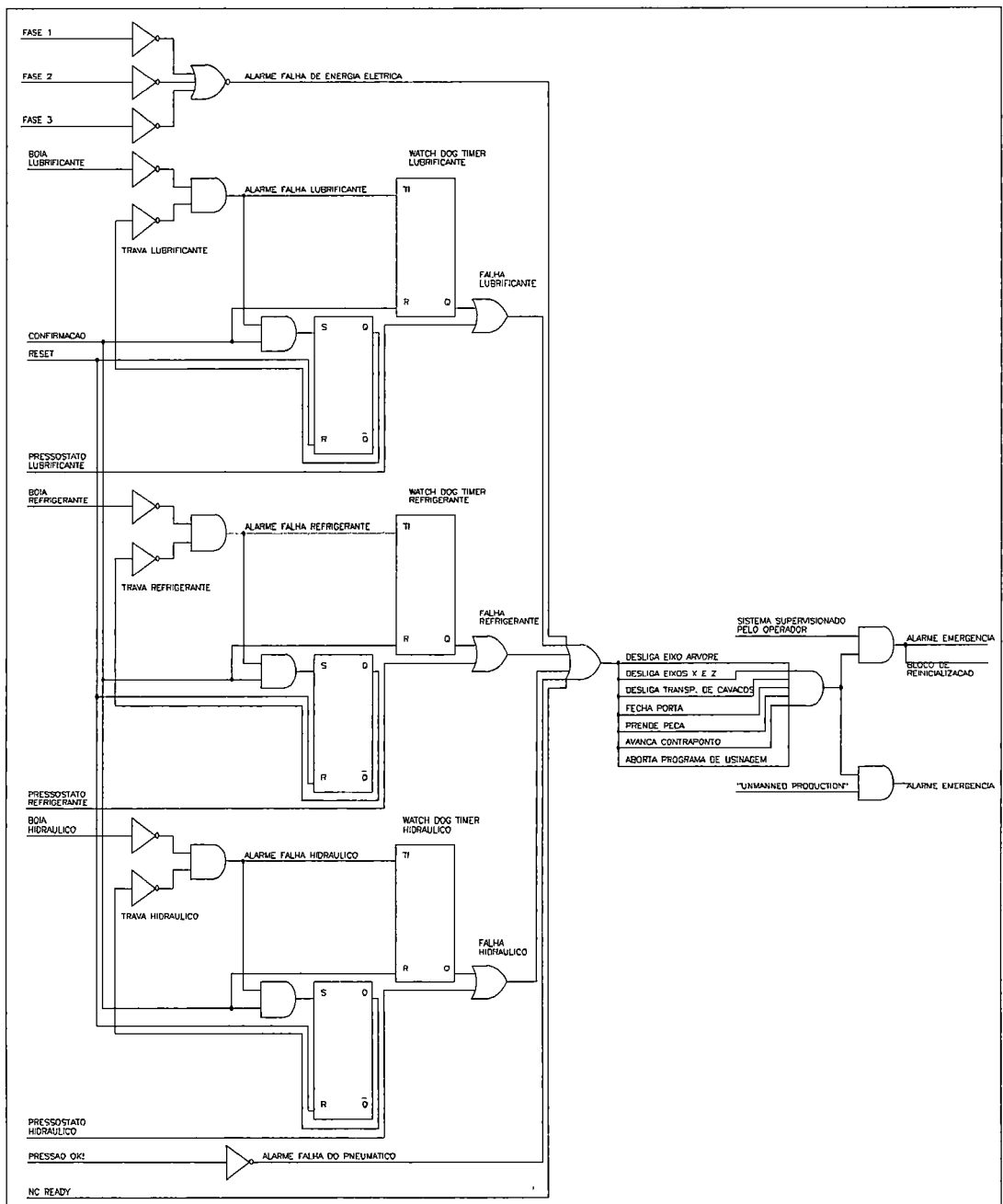


Figura 6.13 - diagrama lógico do bloco de emergência

## Capítulo 7 - Modelo do sistema de intertravamento em rede de Petri

Antes da apresentação do modelo em Rede de Petri do sistema de intertravamento faz-se necessária observação preliminar de algumas considerações que permitirão um melhor entendimento do mesmo:

- A proposta de modelo a ser apresentada nas páginas a seguir procura manter-se o mais próximo possível do comportamento real de um PLC e sua interação com o sistema a ser monitorado, e desta forma adota-se uma configuração hierárquica para o mesmo conforme mostrado anteriormente no Capítulo 2 (ilustrado pela Figura 7.1 a seguir).

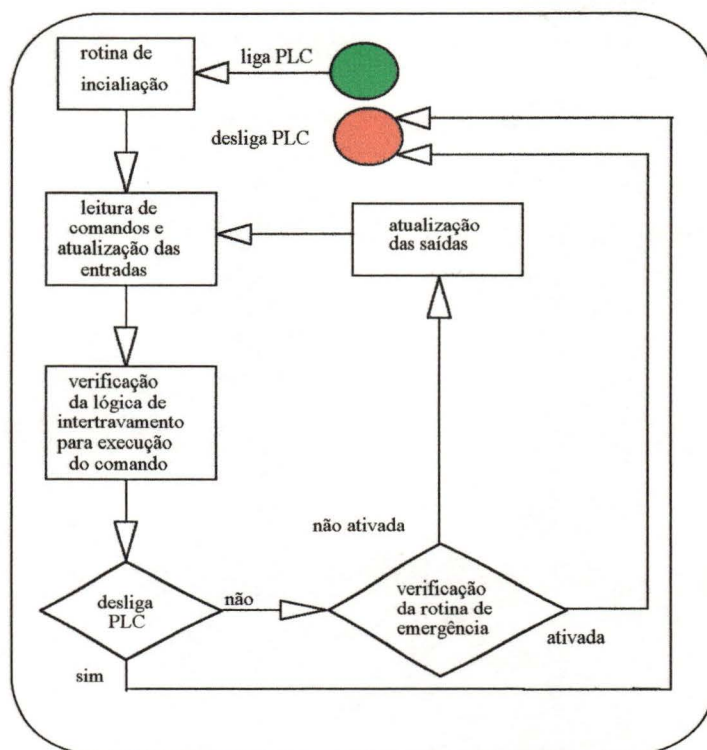


Figura 7.1 - modelo esquemático do PLC

De acordo com esta configuração, ao ser ligado o PLC ativa uma rotina de inicialização que executa as funções de preparação do equipamento para execução do programa de usinagem e coloca os diversos módulos que compõem o torno em uma condição inicial segura.

Finalizada a execução desta, o PLC inicia um processo de varredura em loop onde lê o comando a ser executado, atualiza o estado das variáveis de entrada e ativa a rotina adequada para execução do mesmo. Para finalizar um ciclo do loop, é ativada a verificação da rotina de emergência e atualizado o estado das variáveis de saída; com o processo repetindo-se indefinidamente a partir do ponto onde é lido o próximo comando do programa de usinagem até que haja um caso de falha ou comando para desligar o PLC.

- É fornecida ao operador uma maneira de contornar certas exigências do programa de intertravamento quando operando em modo manual, através do "sinal de confirmação", quando o operador deve responder ao PLC se autoriza a continuação do processo mesmo que esta vá contra algumas normas de segurança (porém temporariamente e com conhecimento do operador). Este sinal é monoestável e sua duração é igual ao período em que o PLC processa determinado módulo do programa de intertravamento.
- Devido á dificuldade de representação gráfica de um diagrama completo por questões de espaço físico, a relação de "troca de fichas" entre dois estados complementares de um mesmo sinal não é ilustrada nos diagramas do modelo do sistema de intertravamento. No entanto, estas relações são bastante óbvias (tais como por exemplo, para o caso de porta aberta e porta fechada), e estão fomalizadas nos blocos e entradas e de saídas. A Figura 7.2 abaixo mostra um diagrama de fluxo de sinais para um destes casos que toma como exemplo o sinal de comando da porta de alimentação do torno.

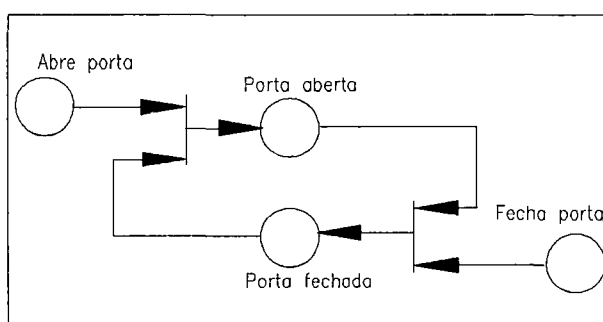


Figura 7.2 - modelo da estrutura de comandos para o PLC



- adota-se a condição de que cada "place" pode conter apenas uma ficha. No caso de um "place" que já contenha uma ficha receber mais uma, esta segunda será desconsiderada
- As transições que representam os diversos eventos ocorridos durante o funcionamento do sistema são representadas graficamente de duas formas:
  - . uma barra, o que indica que o tempo consumido para disparo da mesma é insignificante;
  - . um retângulo, que indica que o tempo para disparo da mesma tem um valor determinado, da ordem de segundos e está especificado logo abaixo de cada uma delas.
- O modelo proposto, dividido em 15 módulos apresenta uma estrutura hierárquica, onde um módulo principal (o gerenciador do intertravamento) realiza uma varredura em "Loop" onde verifica o estado de todas as variáveis de entrada, lê o comando do programa de usinagem, computa a lógica de intertravamento e, se for o caso, executa o comando recebido.
- Nas Figuras a seguir de forma a facilitar a visualização do modelo, os diversos módulos apresentados são divididos em blocos funcionais, e a "entrada" e a "saída" de cada módulo é representada na cor vermelha.
- Conforme dito anteriormente, o modelo proposto apresenta uma característica modular, o que faz com que muitos "places" sejam comuns a diversos módulos. A ativação de um "place" em um destes módulos implica que o mesmo seja ativado em todos os outros, nos quais estiver presente. Sendo assim, serão apresentados em Tabelas para cada módulo, quais os places foram ativados previamente em um outro módulo qualquer.

## 7.1 - Modelo do gerenciador do intertravamento.

O modelo do loop do PLC em rede de Petri é apresentado na Figura 7.3, e a descrição do mesmo em forma de blocos funcionais é apresentada a seguir:

O modelo que representa o "loop" do programa principal é constituído basicamente por quatro blocos:

- . o bloco 1 - bloco de inicialização do sistema, é onde o PLC é ligado ou desligado através de uma chave do tipo "botoeira".
  
- . o bloco 2 - rotina de partida, é ativado somente na primeira vez em que o "loop" for executado, e tem a função de colocar o sistema em um estado seguro de partida e preparar o mesmo para operação. O PLC realiza aqui as seguintes tarefas:
  - referencia os eixos de usinagem X e Z;
  - habilita os eixos X, Z e eixo árvore;
  - liga o compressor do sistema;
  - fecha porta de alimentação do torno;
  - libera o eixo árvore com relação ao freio;
  - prende peça;
  - desliga líquido refrigerante de corte; e
  - desliga esteira do transportador de cavacos.

Há que se frizar ainda, que existe um "watch-dog-timer" para este bloco, e se a execução do mesmo não for completada em um determinado período de tempo, o PLC é então reinicializado.

- . o bloco 3 - gerenciador do programa de intertravamento, é constituído por nove módulos idênticos, e de acordo com a existência ou não de comando, cada um deles ativa uma das rotinas de controle dos submódulos do torno:

- freio do eixo-árvore;
- trocador de ferramentas;
- porta de alimentação;
- eixos X e Z;
- eixo-árvore;
- líquido refrigerante de corte;
- transportador de cavacos;
- placa; e
- contraponto.

o bloco 4 - rotina de emergência realiza o monitoramento de alguns sinais cujas falhas comprometerão a segurança e precisão do sistema:

- sistema de lubrificação forçada;
- circuito hidráulico;
- alimentação de energia elétrica;
- circuito pneumático;
- sensor térmico do motor (sinal "NC READY"); e
- "watch-dog-timers" dos diversos submódulos (sinal "emergência ativada").

Em caso de algum destes sinais ser ativado, deve tomar uma série de providências:

- desligar o eixo árvore;
- desligar o transportador de cavacos;
- fechar porta de alimentação do torno;
- prender peça na placa;
- avançar o contraponto;

- abortar o programa de usinagem; e
- desligar o PLC, se o sistema estiver atuando em regime de "unmanned production" ou se, operando na presença do operador, houver uma falha de natureza grave ou
- reinicializar o sistema, se o mesmo estiver operando na presença de operador e a falha ocorrida não comprometer a segurança do mesmo ou a integridade dos equipamentos.

Tabela 7.1 - "places" do gerenciador do intertravamento ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P001 - Liga PLC	Condição inicial deste módulo
P003 - Desliga PLC	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4), no módulo de interação com o operador (Fig. 7.17), ou no módulo de emergência (Fig. 7.15)
P004 - PLC desligado	Condição inicial deste módulo
P107 ... P907 - Não há comando	Condição inicial deste módulo
P110 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando do freio do eixo árvore (Fig. 7.6)
P210 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando do trocador de ferramentas (Fig. 7.7)
P310 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P410 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
P510 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P610 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
P710 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)
P810 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando da placa (Fig. 7.13)
P910 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de comando do contraponto (Fig. 7.14)
P022 - Comando lido	Módulo de leitura do comando de usinagem (Fig. 7.4)
P024 - Entradas atualizadas	Módulo de atualização das entradas (Fig. 7.5)
P027 - Saídas atualizadas	Módulo de atualização das saídas (Fig. 7.16)
P029 - Atuação do operador verificada	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P1042 - Prossegue "Loop" do PLC	Módulo de emergência (Fig. 7.15)
P1046 - Desliga PLC	Módulo de emergência (Fig. 7.15)
P1049 - Reinicia o sistema	Módulo de emergência (Fig. 7.15)

Tabela 7.2 - transições do módulo do gerenciador do intertravamento que ativam outros módulos

<b>Transição</b>	<b>Módulo ativado</b>
T105, T106	Módulo de comando do freio do eixo árvore (Fig. 7.6)
T205, T206	Módulo de comando do trocador de fer. (Fig. 7.7)
T305, T306	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
T405, T406	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
T505, T506	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
T605, T606	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
T705, T706	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)
T805, T806	Módulo de comando da placa (Fig. 7.13)
T905, T906	Módulo de comando do contraponto (Fig. 7.14)
T904, T907	Módulo de emergência (Fig. 7.15)
T017, T024	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)
T018	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig 7.5)
T021	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
T023	Módulo de interação operador X PLC (Fig 7.17)

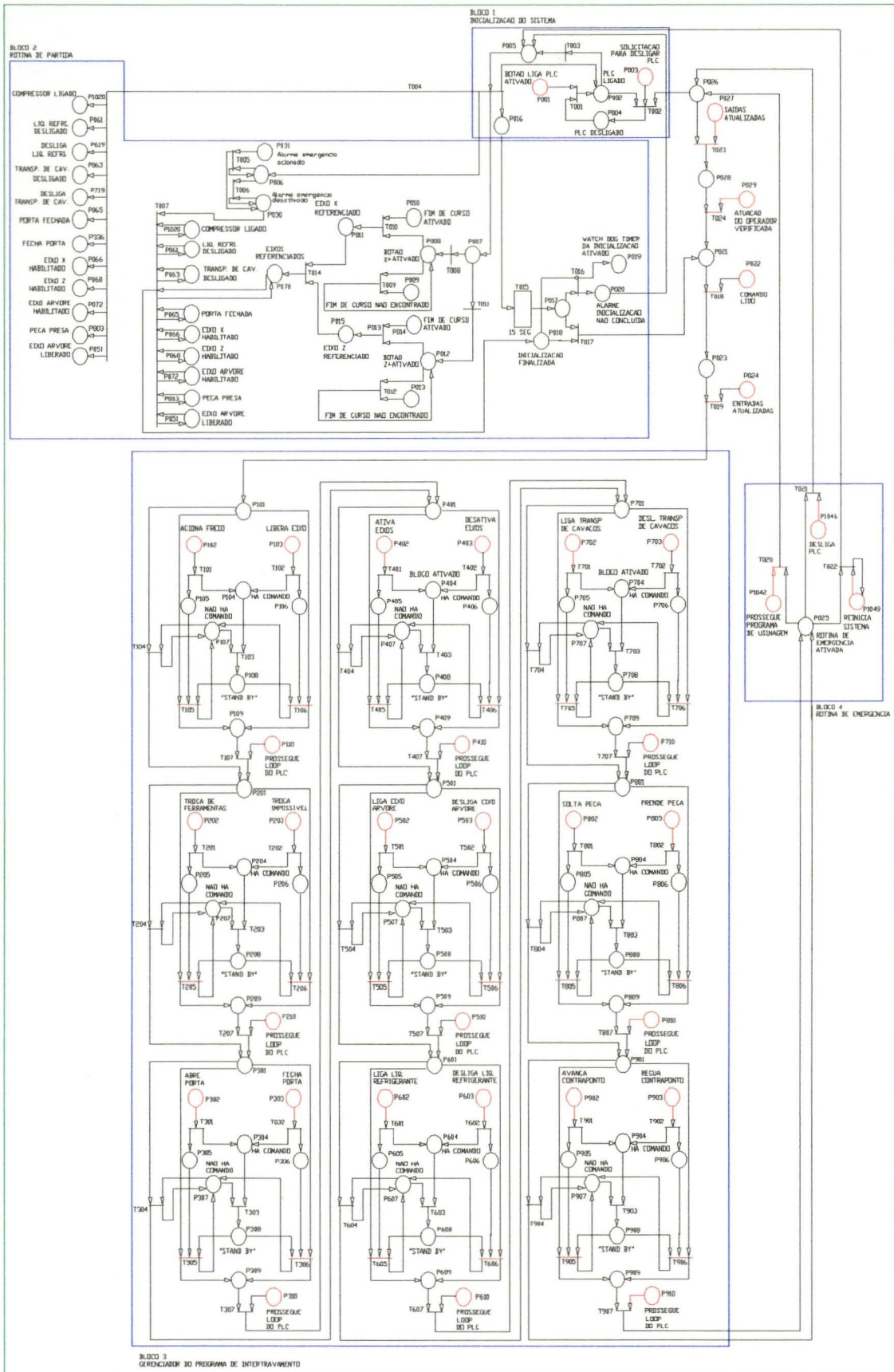


Figura 7.3 - Modelo do gerenciador do intertravamento

## 7.2 - Modelo do módulo de leitura dos comandos do programa de usinagem

A Figura 7.4 mostra o modelo para o módulo de leitura dos comandos do programa de usinagem para um programa hipotético. Este módulo é dividido em 13 blocos, sendo que cada um dos blocos transmite ao PLC o comando a ser executado:

- abrir porta de alimentação do torno;
- prender peça;
- fechar porta de alimentação do torno;
- ligar eixo árvore;
- ligar refrigerante de corte;
- ligar transportador de cavacos;
- acionar avanços dos eixos X e Z;
- desligar avanços dos eixos X e Z;
- desligar refrigerante de corte;
- desligar transportador de cavacos;
- desligar eixo árvore;
- abrir porta de alimentação do torno; e
- soltar peça.

### Transições ativadas em outros módulos:

**T017, T024** - ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)

Tabela 7.3 - "places" do módulo de leitura dos comandos do programa de usinagem ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P343 - Abrir porta ok!	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P856 - Fixação da peça ok!	Módulo de comando da placa (Fig. 7.13)
P344 - Porta fechada ok!	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P555 - Eixo árvore ligado ok!	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P626 - Refrigerante ligado ok!	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
P726 - Transp. de cav. ligado ok!	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)
P461 - Avanços ligados	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
P462 - Avanços desligados	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
P627 - Refrigerante desligado	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
P727 - Transp. de cav. desligado	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)
P556 - Eixo árvore desligado	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P855 - Peça solta	Módulo de comando da placa (Fig. 7.13)
P1044 - Aborta progr de usinagem	Módulo de emergência (Fig. 7.15)
P399 - Comando ativado	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P499 - Comando ativado	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
P599 - Comando ativado	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P699 - Comando ativado	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
P799 - Comando ativado	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)
P899 - Comando ativado	Módulo de comando da placa (Fig. 7.13)





### 7.3 - Modelo do módulo de atualização das entradas do PLC

No modelo do módulo de atualização das entradas (Figura 7.5), são atualizados os estados de todas as entradas do PLC (comandos recebidos e/ou sinais dos diversos sensores) antes do mesmo iniciar a execução do comando do programa de usinagem. Os sinais em questão, e que fazem parte da imagem das entradas do processo são:

- ligar/desligar eixo árvore (sentidos horário e anti-horário);
- ligar/desligar líquido refrigerante de corte;
- Prender/soltar peça;
- avançar/recuar contraponto;
- ligar/desligar transportador de cavacos;
- abrir/fechar porta;
- acionar freio do eixo árvore;
- trocar ferramenta;
- movimentar os eixos de usinagem X e/ou Z;
- modo de operação (com ou sem a presença de operador);
- habilitação dos eixos X, Z e eixo-árvore;
- referenciamento dos eixos X e Z;
- posicionamento da torre para troca de ferramentas;
- identificação da ferramenta posicionada para usinagem;
- ligar/desligar compressor;
- monitoramento do sistema de lubrificação;
- monitoramento do sistema hidráulico;
- monitoramento do sistema pneumático;
- monitoramento do aquecimento dos motores (sinal "NC READY"); e
- monitoramento da alimentação de energia elétrica

### Transições ativadas em outros módulos:

**T018** - é ativada no módulo de gerenciamento do intertravamento (Fig. 7.3).

Tabela 7.4 - "places" do módulo de atualização das entradas do PLC ativados em outros módulos

P1133 - Abre porta	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1122 - Prende peça	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1134 - Fecha porta	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1101 - Liga eixo árvore	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1113 - Liga refrigerante	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1129 - Liga transp. de cavacos	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1144 - Liga avanços	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1145 - Desliga avanços	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1116 - Desliga refrigerante	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1130 - Desliga transp. de cav.	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1104 - Desliga eixo árvore	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)
P1121 - Solta peça	Módulo de leitura de comandos do programa de usinagem (Fig. 7.4)

**Obs:** qualquer um dos places podem ser "setados" no módulo de interação Operador X PLC.

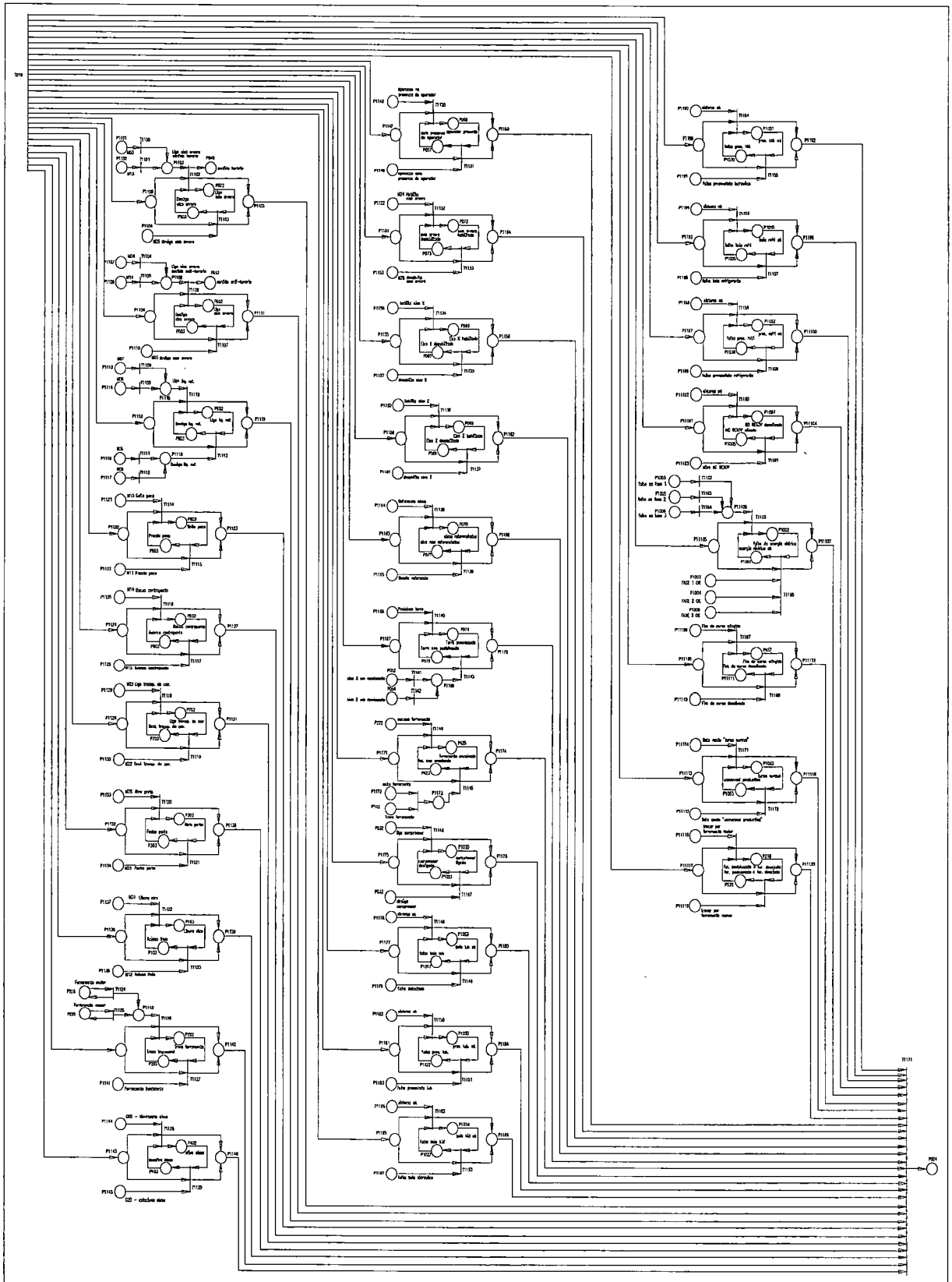


Figura 7.5 - Modelo do módulo de atualização das entradas do PLC

#### **7.4 - Modelo do módulo de comando do freio do eixo-árvore**

A Figura 7.6 a seguir representa o módulo de comando do freio do eixo-árvore e é constituída por três blocos:

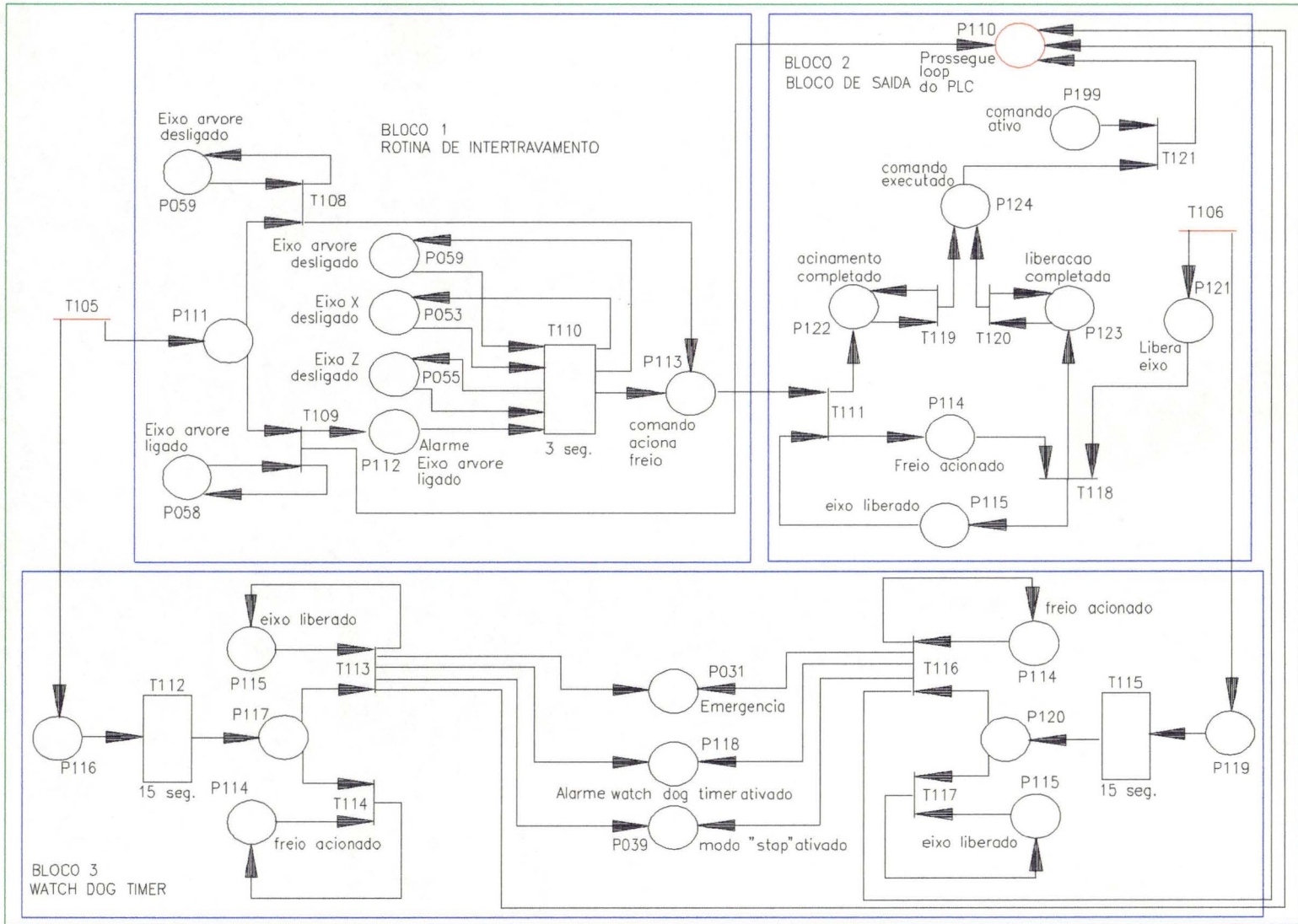
- . o bloco 1 - rotina de intertravamento: verifica se a condição de intertravamento para executar o comando (eixo árvore desligado) está satisfeita, e no caso afirmativo, executa o comando recebido. No caso negativo, emite alarme ao operador e desencadeia as ações corretivas:
  - desliga o eixo-árvore;
  - desliga o avanço dos eixo de usinagem X e Z; e
  - ativa um temporizador para fornecer um pequeno atraso e, finalmente, ativa o comando para acionar o freio.
- . o bloco 2 - "watch dog timers" no caso do comando recebido (acionar o freio ou liberar o eixo-árvore) não ser executado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o watch dog timer será disparado, ativando um alarme ao operador e o bloco de emergência.
- . o bloco 3 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as condições de intertravamento) sejam atendidas e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.

Tabela 7.5 - "places" do módulo de comando do freio do eixo árvore ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P053 - Eixo X desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P055 - Eixo Z desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P058 - Eixo árvore ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P059 - Eixo árvore desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P115 - Eixo árvore liberado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P199 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T105** e **T106** do módulo de comando do freio do eixo árvore são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.6 - modelo do módulo de comando do freio do eixo árvore



## 7.5 - Modelo do módulo de comando do trocador de ferramentas

A Figura 7.7 representa o módulo de comando relativo ao trocador de ferramentas que é constituído por quatro blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

- . bloco 1 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se esta satisfeita a condição para acionamento do trocador de ferramentas (torre posicionada longe do centro de giro do eixo árvore). Se não estiver satisfeita, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que a condição acima citada seja satisfeita.
- . bloco 2 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se esta satisfeita a condição para acionamento do trocador de ferramentas (torre posicionada longe do centro de giro do eixo árvore). Se não estiver satisfeita, emite um alarme ao operador e espera que a condição acima citada seja satisfeita.
- . bloco 3 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e ativando o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.
- . bloco 4 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "watch-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.

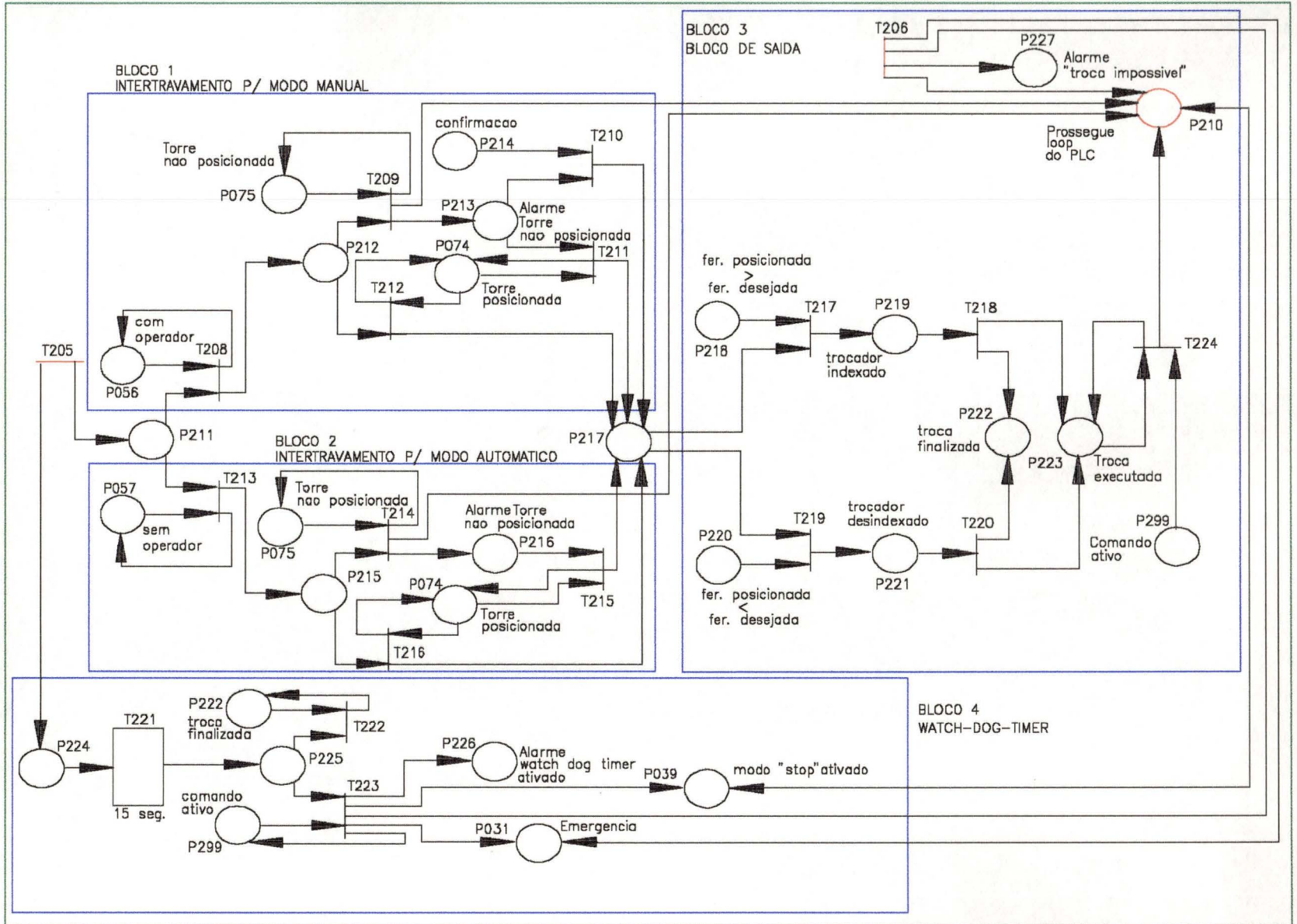


Tabela 7.6 - "places" do módulo de comando do trocador de ferramentas ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P074 - Torre posicionada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P075 - Torre não posicionada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P214 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P218 - Ferramenta posicionada maior que ferramenta desejada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P220 - Ferramenta posicionada menor que ferramenta desejada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P299 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T205** e **T206** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.7 - modelo do módulo de comando do trocador de ferramentas



## 7.6 - Modelo do módulo de comando da porta de alimentação do torno

A Figura 7.8 representa o módulo de comando da porta de alimentação do torno, o qual é constituído por cinco blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

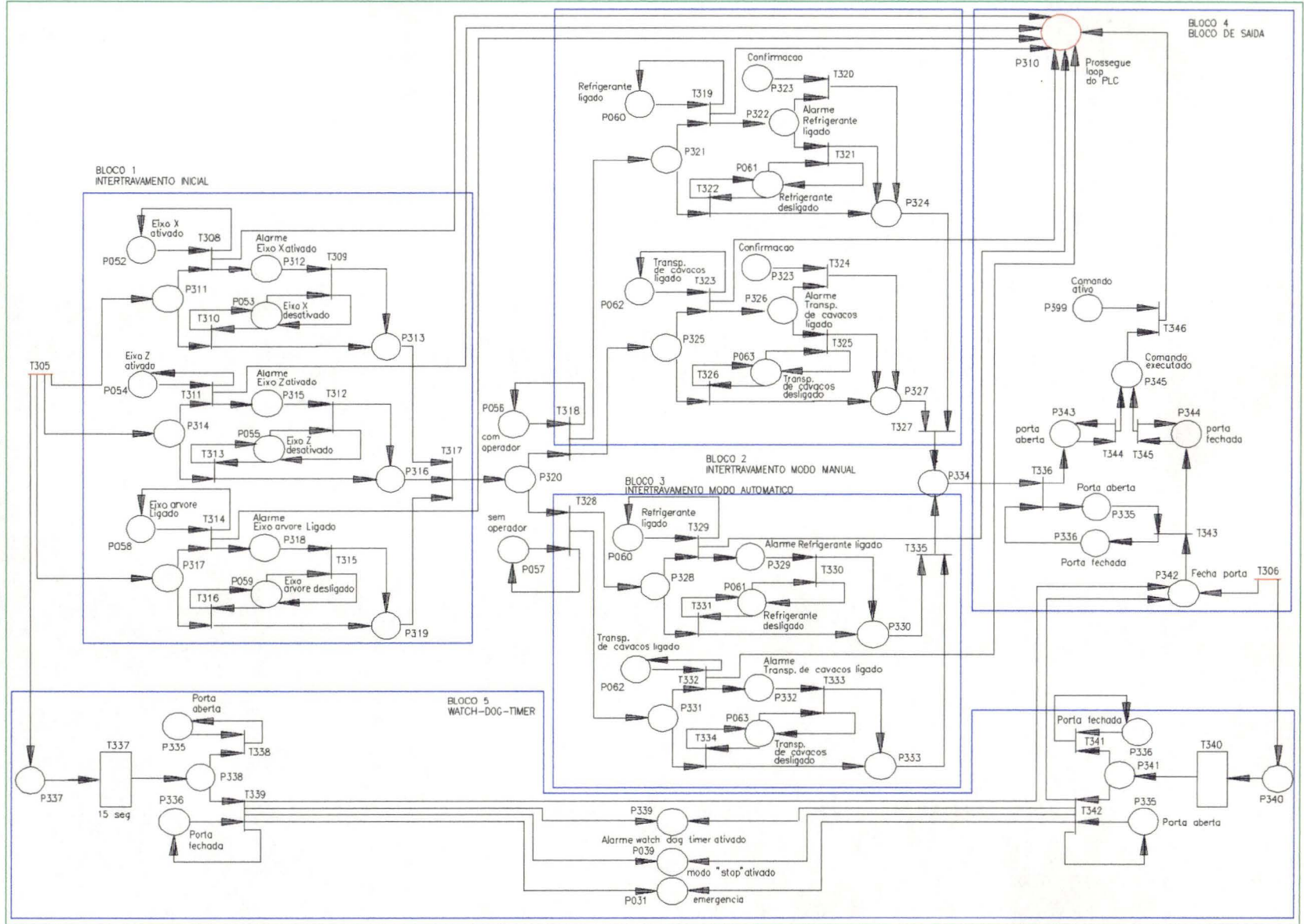
- . bloco 1 - intertravamento inicial: verifica as condições para abrir a porta de alimentação do torno comuns aos modos "com operador" e "sem operador" (avanços dos eixos X e Z desativados e eixo árvore desligado).
- . bloco 2 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para abrir a porta de alimentação do torno (líquido refrigerante de corte e transportador de cavacos desligados). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 3 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para abrir a porta de alimentação do torno (líquido refrigerante de corte e transportador de cavacos desligados). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 4 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- . bloco 5 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Tabela 7.7 - "places" do módulo de comando da porta ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P052 - Eixo X em movimento	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P053 - Eixo X parado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P054 - Eixo Z em movimento	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P055 - Eixo Z parado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P058 - Eixo árvore ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P059 - Eixo árvore desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P060 - Refrigerante ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P061 - Refrigerante desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16), ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P323 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P336 - Porta fechada	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P399 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T305** e **T306** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.8 - modelo do módulo de comando da porta



## 7.7 - Modelo do módulo de comando dos eixos X e Z

A Figura 7.9 representa o módulo de comando dos eixos de usinagem X e Z, o qual é constituído por cinco blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

- . bloco 1 - intertravamento inicial: verifica as condições para acionar os eixos de usinagem X e Z comuns aos modos "com operador" e "sem operador" (eixos X e Z habilitados).
- . bloco 2 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para acionar os eixos de usinagem X e Z (porta fechada, eixos referenciados, ferramenta encaixada corretamente no suporte e eixo árvore ligado). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 3 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para acionar os eixos de usinagem X e Z (porta fechada, eixos referenciados, ferramenta encaixada corretamente no suporte e eixo árvore ligado). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 4 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- . bloco 5 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Tabela 7.8 - "places" do módulo de comando dos eixos X e Z ativados em outros módulos

"Place"	Onde é ativado
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P058 - Eixo árvore ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P059 - Eixo árvore desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P060 - Refrigerante ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P061 - Refrigerante desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P064 - Porta aberta	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P065 - Porta fechada	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P066 - Eixo X habilitado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3) ou módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P067 - Eixo X desabilitado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P068 - Eixo Z habilitado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3) ou módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P069 - Eixo Z desabilitado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P070 - Eixos referenciados	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3) ou módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P071 - Eixos não referenciados	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P420 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P423 - Ferramenta não encaixada corretamente	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P425 - Ferramenta encaixada corretamente	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P454 - Eixos fora da faixa de tolerância	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P455 - Limite de velocidade atingido	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P457 - Fim de curso atingido	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P499 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T405** e **T406** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).



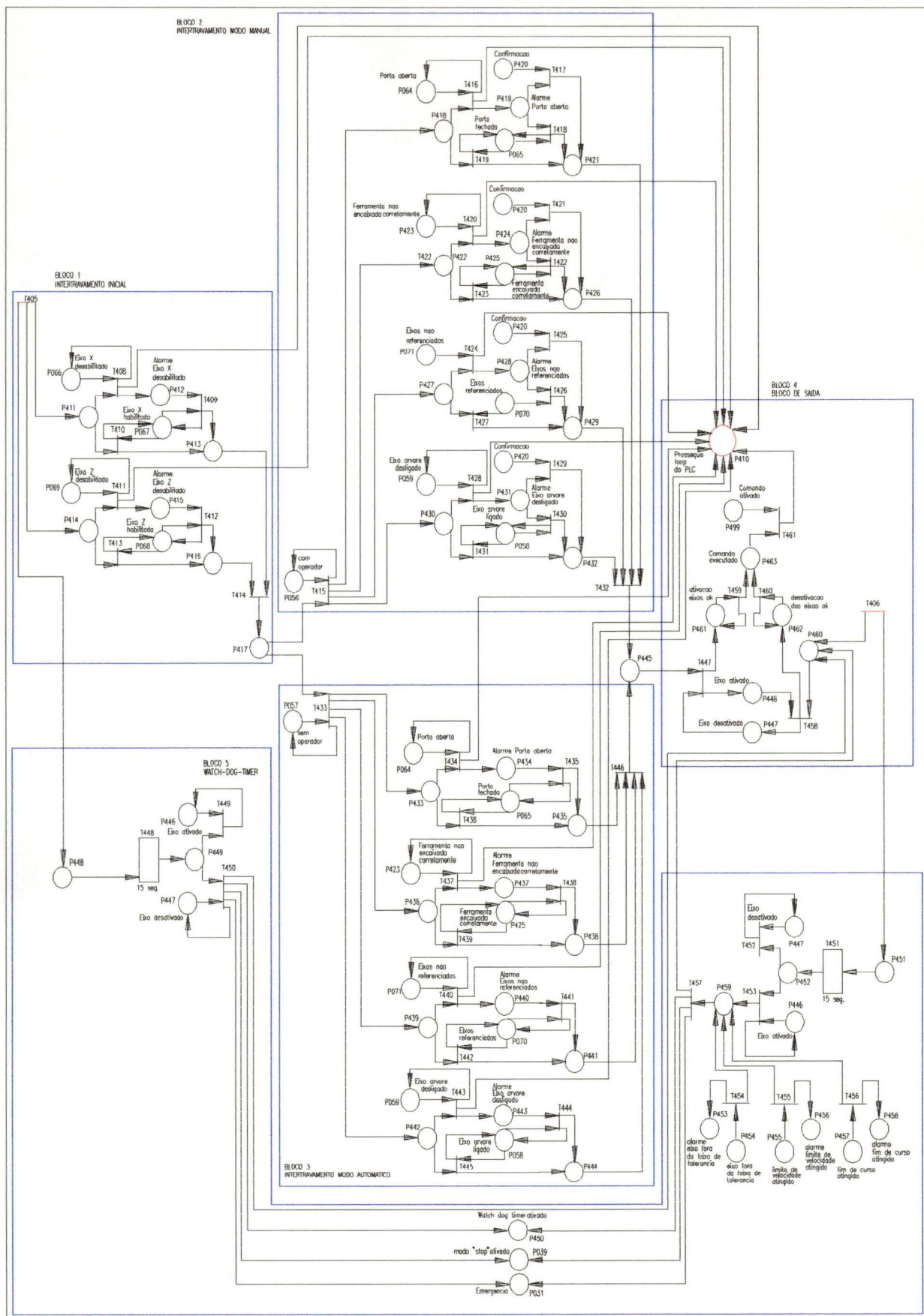


Figura 7.9 - modelo do módulo de comando dos eixos de usinagem X e Z



## 7.8 - Modelo do módulo de comando do eixo-árvore

A Figura 7.10 representa o módulo de comando do eixo árvore, o qual é constituído por cinco blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

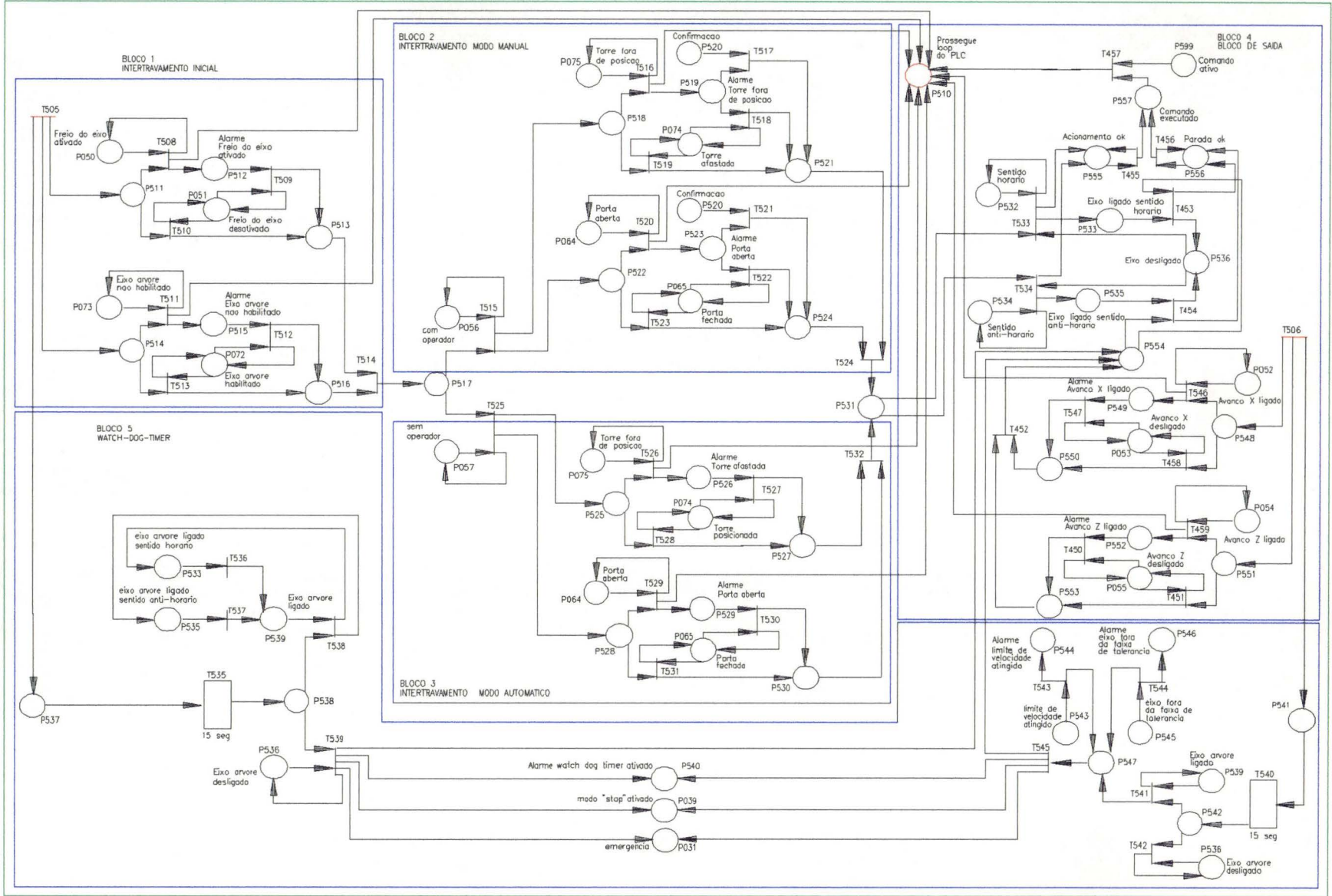
- . bloco 1 - intertravamento inicial: verifica as condições para acionar o eixo árvore comuns aos modos "com operador" e "sem operador" (freio do eixo desativado e eixo árvore habilitado).
  
- . bloco 2 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para acionar o eixo árvore (porta fechada e torre afastada do centro de giro do eixo árvore). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
  
- . bloco 3 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para acionar o eixo árvore (porta fechada e torre afastada do centro de giro do eixo árvore). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
  
- . bloco 4 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
  
- . bloco 5 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Tabela 7.9 - "places" do módulo de comando do eixo árvore ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P050 - Freio do eixo ativado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P051 - Eixo liberado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P052 - Eixo X ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P053 - Eixo X desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P054 - Eixo Z ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P055 - Eixo Z desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P064 - Porta aberta	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P065 - Porta fechada	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P066 - Eixo X habilitado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3) ou módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P067 - Eixo X desabilitado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P068 - Eixo Z habilitado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3) ou módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P069 - Eixo Z desabilitado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P072 - Eixo árvore habilitado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3) ou módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P073 - Eixo árvore desabilitado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P074 - Torre afastada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.16)
P075 - Torre não posiconada	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9) ou módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P520 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P543 - Limite de velocidade atingido	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P545 - Eixos fora da faixa de tolerância	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P599 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T505** e **T506** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.10 - modelo do módulo de comando do eixo árvore



## 7.9 - Modelo do módulo de comando do líquido refrigerante de corte

A Figura 7.11 a seguir representa o módulo de comando do líquido refrigerante de corte, o qual é constituído por quatro blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

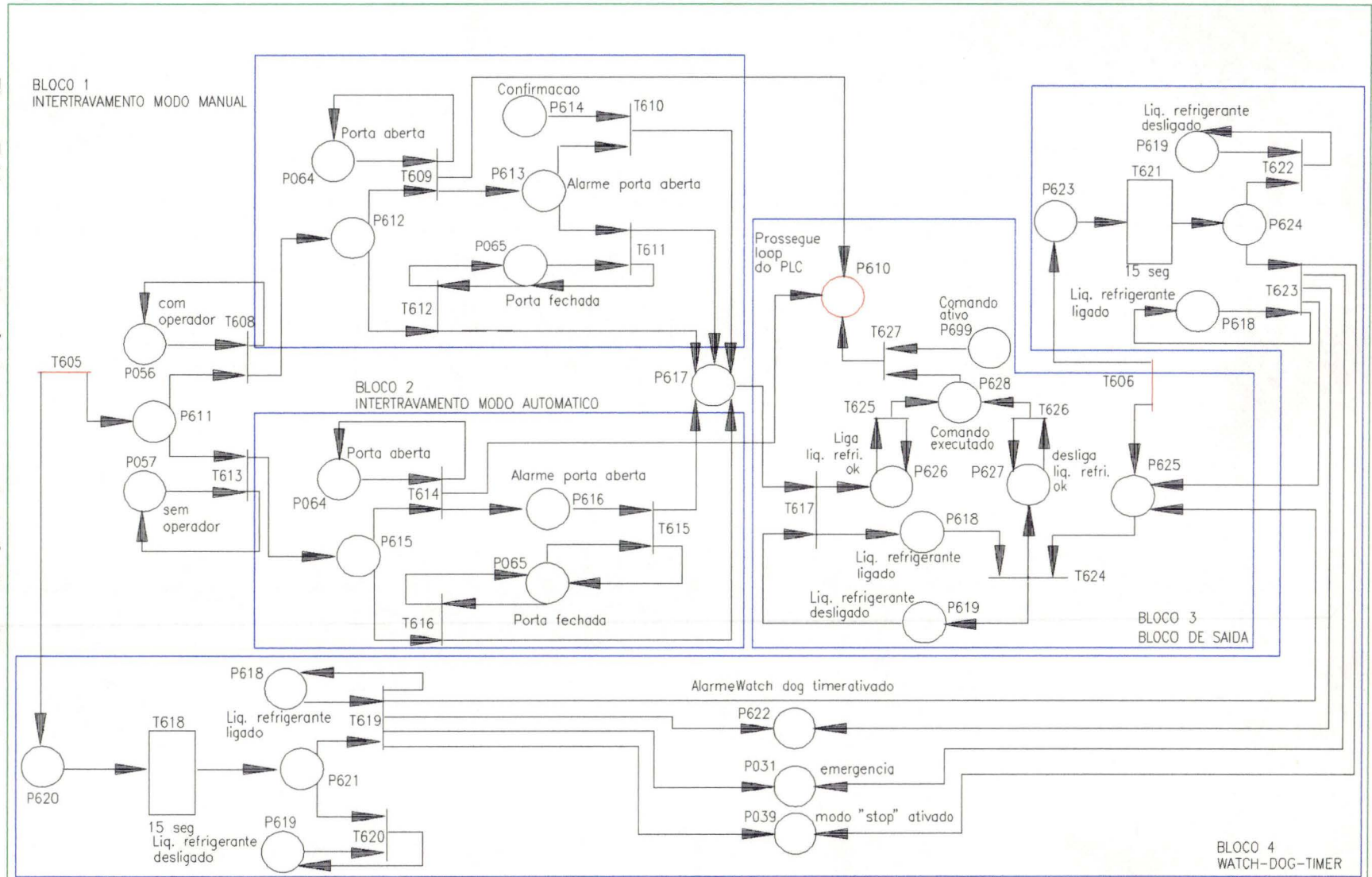
- . bloco 1 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se está satisfeita a condição para acionar o líquido refrigerante (porta fechada). Se não estiver satisfeita, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que a condição acima citada seja satisfeita.
- . bloco 2 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se está satisfeita a condição para acionar o líquido refrigerante (porta fechada). Se não estiver satisfeita, emite um alarme ao operador e espera que a condição acima citada seja satisfeita.
- . bloco 3 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- . bloco 4 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Tabela 7.10 - "places" do módulo de comando do refrigerante de corte ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P064 - Porta aberta	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P065 - Porta fechada	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P614 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P618 - Refrigerante ligado	Condição inicial deste módulo
P619 - Refrigerante desligado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P699 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T605** e **T606** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.11 - modelo do módulo de comando do líquido refrigerante de corte



## **7.10 - Modelo do módulo de comando do transportador de cavacos**

A Figura 7.12 a seguir representa o módulo de comando do transportador de cavacos, o qual é constituído por quatro blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

- . bloco 1 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se está satisfeita a condição para acionar o transportador de cavacos (porta fechada). Se não estiver satisfeita, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que a condição acima citada seja satisfeita.
- . bloco 2 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se está satisfeita a condição para acionar o transportador de cavacos (porta fechada). Se não estiver satisfeita, emite um alarme ao operador e espera que a condição acima citada seja satisfeita.
- . bloco 3 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- . bloco 4 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

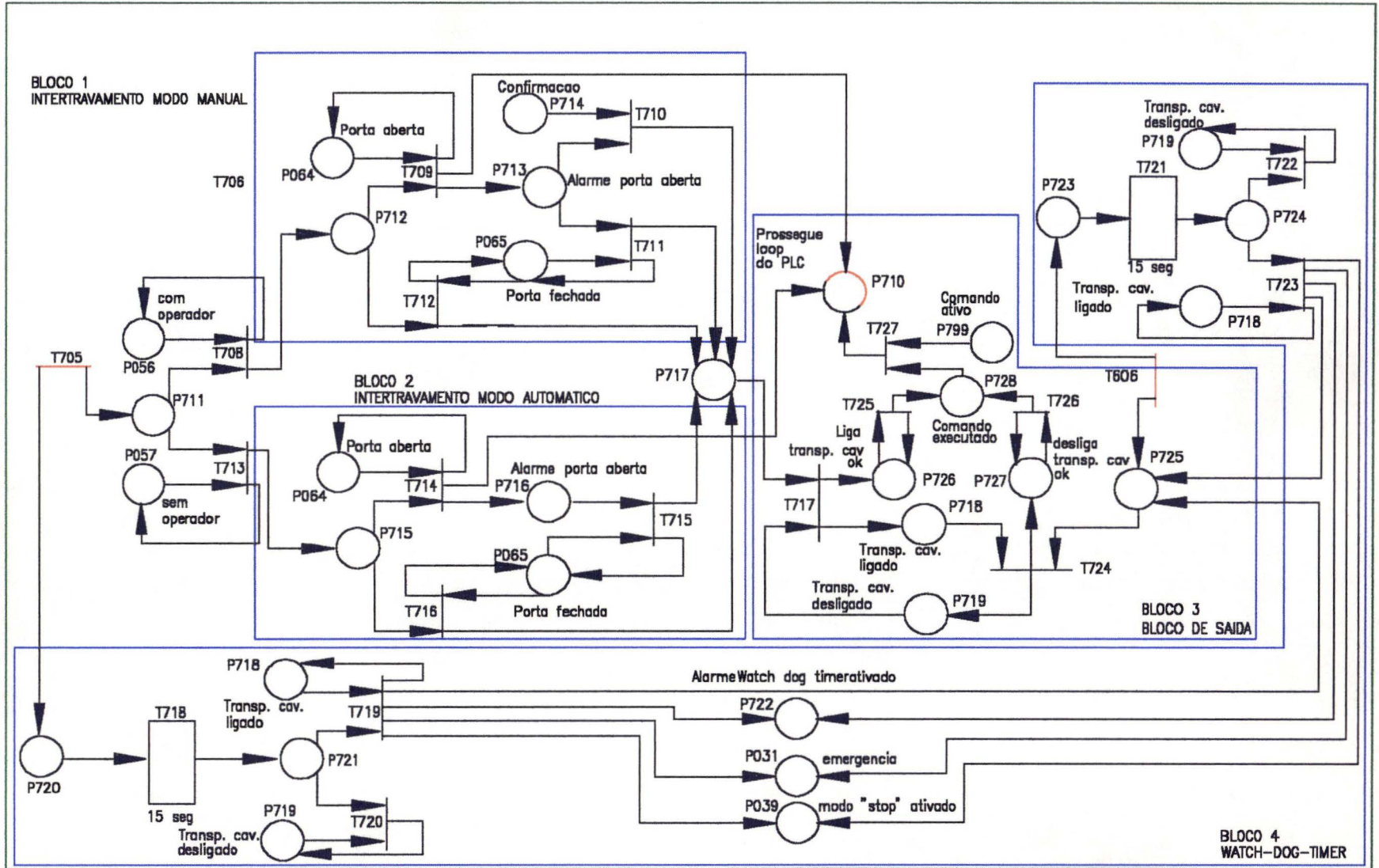
Tabela 7.11 - "places" do módulo de comando do transportador de cavacos ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P064 - Porta aberta	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P065 - Porta fechada	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P714 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P718 - Transp. de cav. ligado	Condição inicial deste módulo
P719 - Transp. de cav. desligado	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P799 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T705** e **T706** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).



Figura 7.12 - modelo do módulo de comando do transportador de cavacos



## 7.11 - Modelo do módulo de comando da placa do eixo-árvore

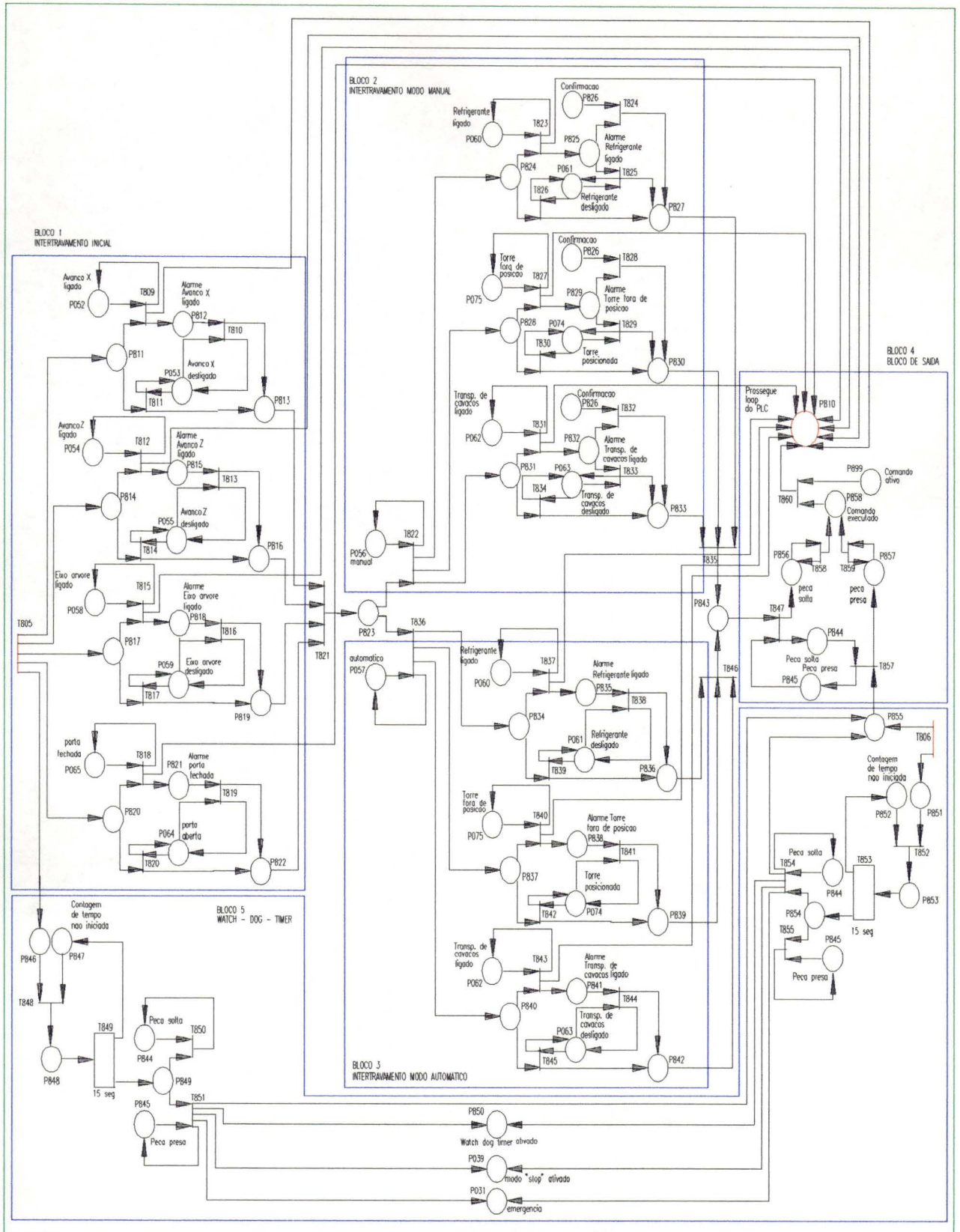
A Figura 7.13 a seguir representa o módulo de comando da placa do eixo árvore, o qual é constituído por cinco blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

- . bloco 1 - intertravamento inicial: verifica as condições para soltar a peça comuns aos modos "com operador" e "sem operador" (avanços dos eixos X e Z desligados, eixo árvore desligado, contraponto recuado e porta aberta).
- . bloco 2 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para soltar peça (refrigerante desligado, torre posicionada longe do centro de giro do eixo árvore e transportador de cavacos desligado). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 3 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para soltar peça (refrigerante desligado, torre posicionada longe do centro de giro do eixo árvore e transportador de cavacos desligado). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 4 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- . bloco 5 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Tabela 7.12 - "places" do módulo de comando da placa ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P050 - Freio do eixo ativado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P051 - Eixo liberado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P052 - Eixo X ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P053 - Eixo X desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P054 - Eixo Z ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P055 - Eixo Z desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P058 - Eixo árvore ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P059 - Eixo árvore desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P060 - Refrigerante ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P061 - Refrigerante desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P062 - Transp. de cav. ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P063 - Transp. de cav. desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P064 - Porta aberta	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P065 - Porta fechada	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P074 - Torre posicionada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P075 - Torre fora de posição	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P875 - Peça presa	Módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P826 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P899 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T805** e **T806** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).



## 7.12 - Modelo do módulo de comando do contraponto

A Figura 7.14 a seguir representa o módulo de comando do contraponto, o qual é constituído por cinco blocos, cuja descrição é apresentada a seguir:

- . bloco 1 - intertravamento inicial: verifica as condições para recuar o contraponto comuns aos modos "com operador" e "sem operador" (avanços dos eixos X e Z desligados, eixo árvore desligado, e porta aberta).
- . bloco 2 - intertravamento para operação na presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para recuar o contraponto (refrigerante desligado, torre posicionada longe do centro de giro do eixo árvore e transportador de cavacos desligado). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera pela confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 3 - intertravamento para operação sem a presença de operador: verifica se estão satisfeitas as outras condições para para recuar o contraponto (refrigerante desligado, torre posicionada longe do centro de giro do eixo árvore e transportador de cavacos desligado). Se não estiverem satisfeitas, emite um alarme ao operador e espera que a condições acima citadas sejam satisfeitas.
- . bloco 4 - bloco de saída: executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o "wat-dog-timer" e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- . bloco 5 - "watch-dog-timer": no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o "watch-dog-timer" é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Tabela 7.13 - "places" do módulo de comando do contraponto ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P050 - Freio do eixo ativado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P051 - Eixo liberado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P052 - Eixo X ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P053 - Eixo X desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P054 - Eixo Z ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P055 - Eixo Z desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P056 - Presença de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Ausência de operador	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P058 - Eixo árvore ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P059 - Eixo árvore desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P060 - Refrigerante ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P061 - Refrigerante desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P062 - Transp. de cav. ligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P063 - Transp. de cav. desligado	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P064 - Porta aberta	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16)
P065 - Porta fechada	Módulo de atualização das saídas do PLC (Fig. 7.16) ou módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3)
P074 - Torre posicionada	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P075 - Torre fora de posição	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P926 - Confirmação do operador	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P999 - Comando ativo	Módulo de leitura dos comandos de usinagem (Fig. 7.4)

As transições **T905** e **T906** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).



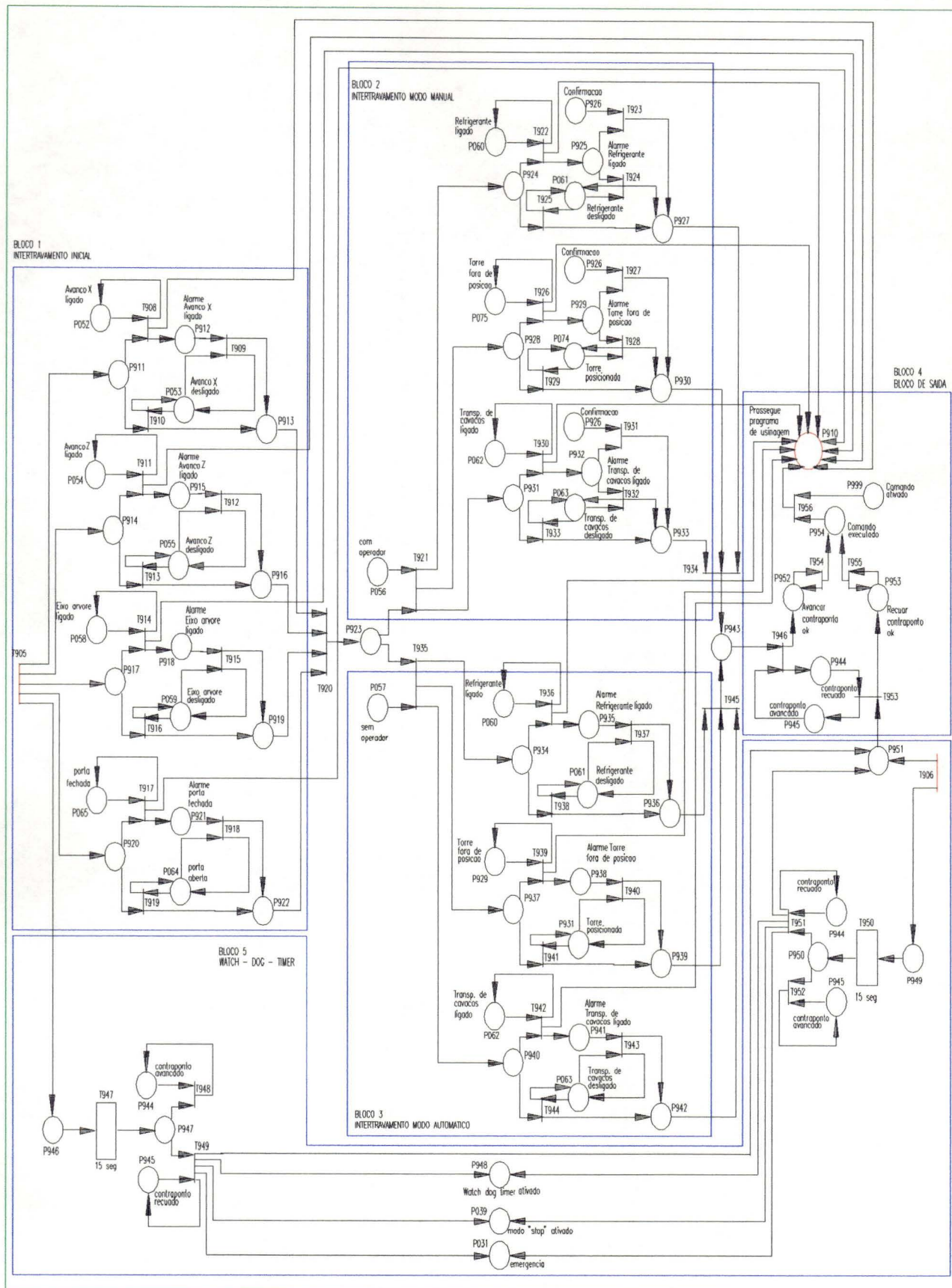


Figura 7.14 - modelo do módulo de comando do contraponto

### 7.13 - Modelo do módulo de emergência

A Figura 7.15 a seguir representa o módulo de emergência, onde o PLC realiza uma varredura sobre as entradas vitais ao funcionamento confiável e seguro do sistema:

- sistema de lubrificação forçada (bóia e pressostato);
- circuito hidráulico (bóia e pressostato);
- circuito do líquido refrigerante de corte (bóia e pressostato);
- alimentação de energia elétrica;
- circuito pneumático;
- sensor térmico do motor (sinal "NC READY"); e
- "watch-dog-timers" dos submódulos (sinal "emerg. ativada").

Nos três primeiros casos, caso haja detecção de falhas em uma das bóias, é ativado um alarme ao operador que tem a oportunidade de confirmar a continuação do processo dentro de um determinado intervalo de tempo. Se não o fizer, o "watch-dog-timer" do bloco levará o sistema para o modo "Stop", o que também ocorrerá se qualquer um dos outros sinais acima citados for ativado.

Neste caso, ou se um dos "watch-dog-timers" dos diversos módulos anteriormente apresentados estiver ativado, uma série de providências serão tomadas:

- desligar o eixo árvore;
- desligar o transportador de cavacos;
- fechar porta de alimentação do torno;
- prender peça na placa;
- avançar o contraponto;
- desativar os eixos de usinagem X e Z;
- abortar o programa de usinagem; e ou
- desligar o PLC, se o sistema estiver atuando em regime de "unmanned production" ou se, operando na presença do operador, houver uma falha de natureza grave; ou



- reinicializar o sistema, se o mesmo estiver operando na presença de operador e a falha ocorrida não comprometer a segurança do mesmo ou a integridade dos equipamentos.

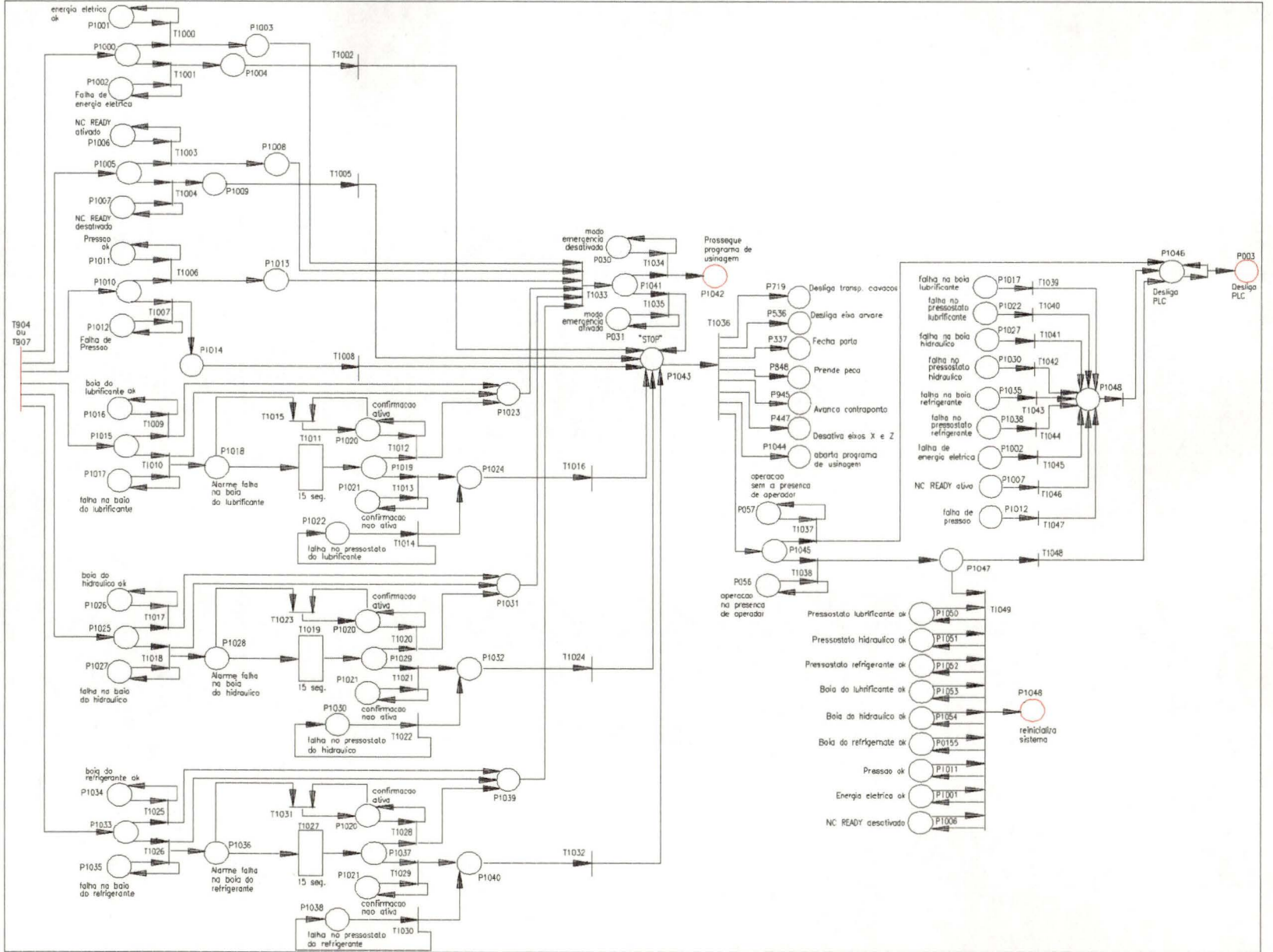
Caso nenhuma destas condições se verifique, isto indicará que o sistema opera em condições absolutamente seguras, e o gerenciador do intertravamento é então liberado para atualizar as saídas do PLC e continuar a execução do programa de usinagem.

Tabela 7.14 - "places" do módulo de emergência ativados em outros módulos

<b>"Place"</b>	<b>Onde é ativado</b>
P030 - Modo emergência ativado	Pode ser ativado em qualquer um dos módulos de comandos dos diversos subsistemas que compõem o torno (Figuras 7.6 até 7.14).
P031 - Modo emerg. desativado	Módulo de gerenciamento do PLC (Fig. 7.3)
P056 - Operador presente	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P057 - Operador ausente	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1001 - Energia elétrica ok	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1002 - Falha de energia elétrica	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1006 - Sinal "NC READY" ativo	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1007 - "NC READY" desativado	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1011 - Pressão ok	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1012 - Falha de pressão	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1016 - Boia do lubrificante ok	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1017 - Falha na boia do lub.	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1020 - Confirmação ativa	Módulo de interação operador X PLC (Fig. 7.17)
P1022 - Falha no pressost. do lub.	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1026 - Boia do hidráulico ok	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1027 - Falha na bóia do hid.	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1030 - Falha no pressost. do hid.	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1034 - Bóia do refrigerante ok	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1035 - Falha na bóia do refri.	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5)
P1038 - Falha no pressost. do ref.	Módulo de atualização das entradas do PLC (Fig. 7.5) <sup>b</sup>

As transições **T904** e **T907** são ativadas no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.15 - modelo do módulo de emergência



## 7.14 - Modelo do módulo de atualização das saídas do PLC

No modelo do módulo de atualização das saídas do PLC representado pela Figura 7.16 da página a seguir, são atualizados os estados das saídas do PLC de acordo com o "status" dos sinais da imagem das saídas do processo. Os sinais em questão são:

- ligar/desligar eixo árvore (sentidos horário e anti-horário);
- ligar/desligar líquido refrigerante de corte;
- ligar/desligar transportador de cavacos;
- abrir/fechar porta;
- acionar freio do eixo árvore; e
- movimentar os eixos de usinagem X e/ou Z;

Tabela 7.15 - "places" do módulo de atualização das saídas do PLC ativados em outros módulos

"Place"	Onde é ativado
P114 - Freio do eixo acionado	Módulo de comando do freio do eixo árvore (Fig. 7.6)
P115 - Eixo árvore liberado	Módulo de comando do freio do eixo árvore (Fig. 7.6)
P335 - Porta aberta	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P336 - Porta fechada	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P446 - Eixos X e Z em movimento	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
P447 - Eixos X e Z parados	Módulo de comando dos eixos X e Z (Fig. 7.9)
P533 - Liga eixo árvore no sentido horário	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P535 - Liga eixo árvore no sentido anti-horário	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P536 - Desliga eixo árvore	Módulo de comando do eixo árvore (Fig. 7.10)
P617 - Liga refrigerante de corte	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
P618 - Desliga refrig. de corte	Módulo de comando do refrigerante de corte (Fig. 7.11)
P717 - Liga transp. de cavacos	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)
P718 - desliga transp. de cavacos	Módulo de comando do transp. de cavacos (Fig. 7.12)

A transição T020 é ativada no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

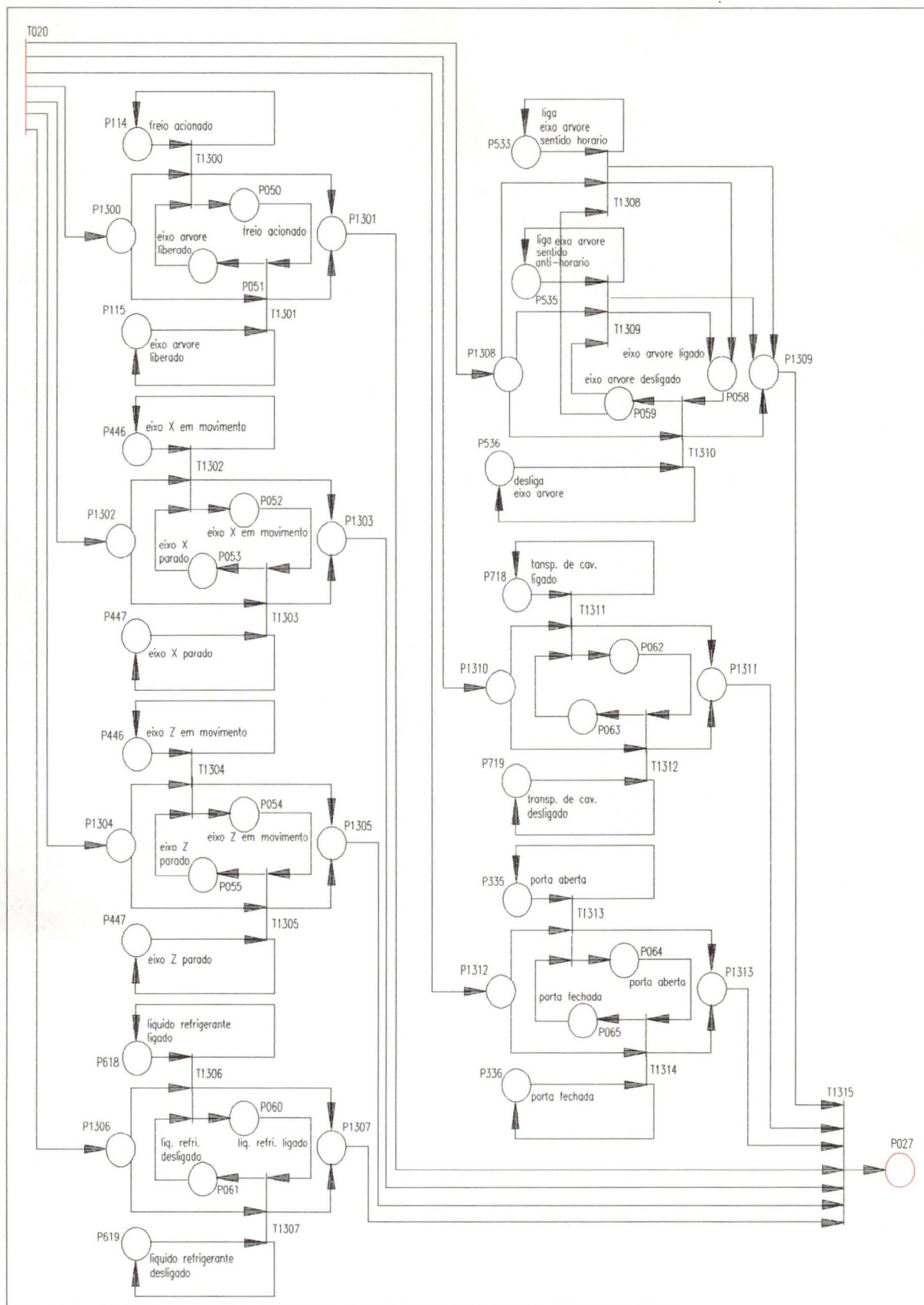


Figura 7.16 - modelo do módulo de atualização das saídas do PLC

## 7.15 - Modelo do módulo de interação do operador com o PLC

O modelo do módulo de interação do operador com o PLC representado pela Figura 7.17 a seguir, permite a simulação de situações onde haja conflito entre o programa de usinagem e a lógica de intertravamento. Neste caso, baseando-se nos alarmes que serão emitidos pelo PLC, é possível simular a intervenção do operador.

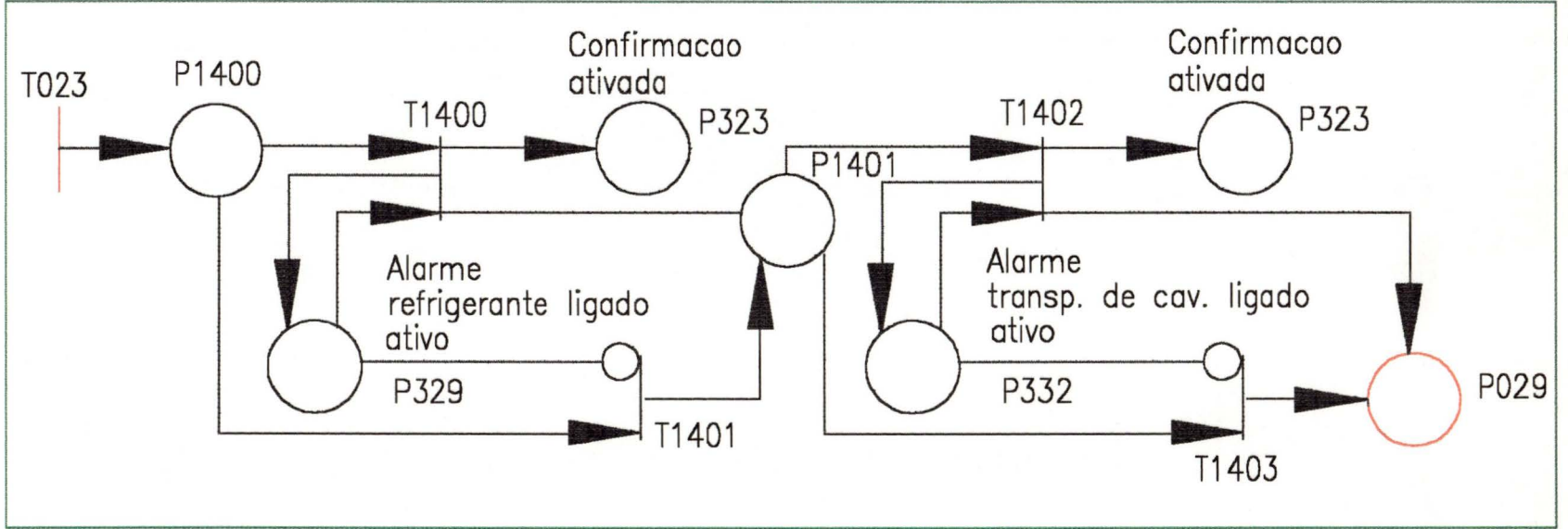
No exemplo apresentado a seguir, será permitido ao operador contornar o intertravamento no caso de estarem ativados os alarmes "refrigerante ligado" e/ou "transportador de cavacos ligado", quando da tentativa de abertura da porta de alimentação do torno.

Tabela 7.16 - "places" do módulo de atualização das saídas do PLC ativados em outros módulos

"Place"	Onde é ativado
P329 - Alarme "refrigerante ligado"	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)
P332 - Alarme "transp. de cavacos ligado"	Módulo de comando da porta (Fig. 7.8)

A transição **T023** é ativada no módulo gerenciador do intertravamento (Fig. 7.3).

Figura 7.17 - modelo do módulo de interação operador X PLC



## Capítulo 8 - Simulação do modelo proposto

É apresentado nas Tabelas a seguir o fluxo de sinais da simulação do funcionamento do Intertravamento representado pelo modelo proposto no Capítulo 7.

Nas colunas verticais de cada Tabela estão representados os diversos "places" que compõem cada um dos módulos. O estado "1" indica presença de uma ficha no "place" em questão, ou que o mesmo encontra-se ativado; enquanto que o sinal "0" indica ausência de ficha, ou que o mesmo está desativado. Nas linhas horizontais estão listadas as transições que foram disparadas para que o conjunto de variáveis modifique-se do "status" da coluna imediatamente á esquerda para a situação atual.

A Tabela 8.1 a seguir contém o fluxo de sinais para simulação da rotina do gerenciador do programa de intertravamento (Figura 7.3), relativa aos Blocos 1 e 2, que realizam a inicialização do sistema. No final do bloco 2, é ativada pela transição T017 a rotina de leitura de comando do programa CN (Figura 7.4), cujo fluxo de sinais está contido na Tabela 8.2.

Como condição inicial deste módulo, um determinado conjunto de "places" deve ser fornecido como "ativos":

**Place P001** - liga PLC

**Place P004** - PLC desligado

**Place P030** - sinal de emergência desativado

**Place P010** - fim de curso para referenciamento do eixo X encontrado

**Place P014** - fim de curso para referenciamento do eixo Z encontrado

Tabela 8.1 - simulação dos blocos 1 e 2 do gerenciador do sistema de intertravamento

Transição										
Place	cond. inicial	T101	T103	T104	T106 T108 T111	T010 T013	T014	T007	T015	T017
P001	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P002	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P004	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P005	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P1020	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P061	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P063	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P065	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P619	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P719	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P336	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P066	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P068	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P072	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P803	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P051	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
P006	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P030	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P007	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P008	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P010	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
P011	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P012	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P014	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
P015	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P070	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
P016	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
P017	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P018	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
P019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

A transição T017 ativa a rotina de leitura de comando do programa CN (Figura 7.4), e o "Loop" do gerenciador do programa de Intertravamento é interrompido até que P022 seja ativado dentro desta rotina.

Por razões de simplificação, na Tabela 8.2 que apresenta o fluxo de sinais para leitura de comando estão contidos apenas os sinais relativos á leitura do primeiro comando do programa CN (bloco1 da Figura 7.4). O conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P021** - indica rotina de leitura de comandos ativa



Tabela 8.2 - simulação da rotina de leitura de comandos do programa CN (Bloco 1)

<b>Transição</b>			
<b>Place</b>	cond. inicial	T017	T1203
P021	1	1	1
P1201	0	1	0
P1202	0	0	0
P343	0	0	0
P399	0	0	1
P1133	0	1	1
P1049	0	0	0
P1044	0	0	0
P1203	0	0	0
P022	0	0	1
P1204	0	0	0

A transição T1203 ativa O "place" P022, que indica o término da leitura do comando e libera a continuação do "Loop" do gerenciador do programa de Intertravamento (tabela 8.3):

Tabela 8.3 - simulação da continuação da rotina do gerenciador do intertravamento

<b>Transição</b>		
<b>Place</b>	cond. inicial	T018
P021	1	0
P022	1	0
P023	0	1
P024	0	0

A transição T018 ativa a rotina de atualização dos dados de entrada (Figura 7.5) dos sensores do PLC (a imagem das entradas do processo) e interrompe novamente sua continuação até que o "place" P024 seja ativado dentro desta rotina.

Também aqui, por razões de simplificação, na Tabela 8.4 que apresenta o fluxo de sinais para atualização dos dados de entrada estão contidos apenas os sinais relativos á atualização do primeiro comando do programa CN lido anteriormente. O conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P1133** - primeiro comando a ser executado (abrir porta)

Tabela 8.4 - simulação da rotina de atualização dos dados de entrada do PLC

<b>Transição</b>				
<b>Place</b>	cond. inicial	T018	T1120	T1171
P1132	0	1	0	0
P1133	1	1	0	0
P1134	0	0	0	0
P1135	0	0	1	0
P302	0	0	1	1
P303	0	0	0	0
P024	0	0	0	1

O "place" P024 libera a continuação do "Loop" do gerenciador de intertravamento, o qual de acordo com o comando lido anteriormente executará o módulo de comando adequado (no caso, o módulo de comando da porta de alimentação do torno).

Também aqui por razões de simplificação, na Tabela 8.5 que apresenta o fluxo de sinais para ativação do bloco de comando da porta de alimentação do torno (bloco 3 da Figura 7.3) estão representados apenas os places relevantes á execução desta parte do programa. O conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P024** - libera continuação do loop do Intertravamento

**Place P107** - não há comando relativo á este módulo

**Place P207** - não há comando relativo á este módulo

**Place P302** - comando para abrir porta ativado

**Place P307** - não há comando relativo á este módulo

Tabela 8.5 - continuação do "Loop" do gerenciador do Intertravamento

<b>Transição</b>					
<b>Place</b>	cond. inicial	T019 T301	T104 T303	T204	T305
P024	1	0	0	0	0
P101	0	1	0	0	0
P102	0	0	0	0	0
P103	0	0	0	0	0
P104	0	0	0	0	0
P105	0	0	0	0	0
P106	0	0	0	0	0
P107	1	1	1	1	1
P108	0	0	0	0	0
P109	0	0	0	0	0
P110	0	0	0	0	0
P201	0	0	1	0	0

P202	0	0	0	0	0
P203	0	0	0	0	0
P204	0	0	0	0	0
P205	0	0	0	0	0
P206	0	0	0	0	0
P207	1	1	1	1	1
P208	0	0	0	0	0
P209	0	0	0	0	0
P210	0	0	0	0	0
P301	0	0	0	1	0
P302	1	0	0	0	0
P303	0	0	0	0	0
P304	0	1	0	0	0
P305	0	1	1	1	0
P306	0	0	0	0	0
P307	1	1	0	0	1
P308	0	0	1	1	0
P309	0	0	0	0	1
P310	0	0	0	0	0

A transição T305 ativa a rotina de comando da porta de alimentação do torno (Figura 7.8), e o "Loop" do gerenciador de Intertravamento é interrompido até que o "place" P310 seja ativado pela mesma.

Na Tabela 8.6 que apresenta o fluxo de sinais para ativação do bloco de comando da porta de alimentação do torno (Figura 7.8) estão representados os palcos relevantes à execução do comando "Abrir porta" no modo "sem a presença de operador". O conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P053** - eixo X desativado

**Place P055** - eixo Z desativado

**Place P059** - eixo árvore desligado

**Place P057** - operação sem a presença de operador

**Place P061** - Líquido refrigerante desligado

**Place P063** - Transportador de cavacos desligado

**Place P336** - porta fechada

**Place P399** - comando ativo

Tabela 8.6 - simulação do módulo de comando da porta de alimentação do torno

Transição										
Place	cond. inicial	T305	T310 T313 T316	T317	T328	T331 T334	T335	T336	T344 T337	T338 T346
P311	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P052	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P053	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P313	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P314	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P055	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P316	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P317	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P058	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P318	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P059	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P319	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P320	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P056	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P057	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
P328	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P061	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P330	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P331	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P062	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P063	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P333	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P334	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P335	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P336	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
P343	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
P345	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P337	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
P338	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P339	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P039	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P399	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

O "place" P310 libera a continuação do gerenciador do Intertravamento, até que a transição T907 ative a rotina de verificação das situações de emergência (Figura 7.15). O "Loop" do gerenciador de

Intertravamento é então interrompido até que um dos "places" P1042, P1046 ou P1048 sejam ativados pela mesma.

A Tabela 8.7 apresenta o fluxo de sinais do bloco de verificação das condições de emergência, e o conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P1001-** alimentação de energia elétrica OK.

**Place P1006-** sinal "NC READY" não ativado

**Place P1011-** pressão do circuito pneumático

**Place P1016-** bóia do circuito de lubrificação forçada OK

**Place P1026-** bóia do circuito hidráulico OK

**Place P1034-** bóia do circuito de refrigeração OK

**Place P030 -** modo de emergência desativado

**Place P057 -** operação sem a presença de operador

**Place P1050-** pressostato do circuito de lubrificação forçada OK

**Place P1051-** pressostato do circuito hidráulico OK

**Place P1052-** pressostato do circuito de refrigeração OK

Tabela 8.7 - simulação do módulo de verificação das condições de emergência

Place	cond. inicial	Transição			
		T907	T1000, T1003 T1006, T1009 T1017, T1025	T1033	T034
P1000	0	1	0	0	0
P1001	1	1	1	1	1
P1002	0	0	0	0	0
P1003	0	0	1	0	0
P1004	0	0	0	0	0
P1005	0	1	0	0	0
P1006	1	1	1	1	1
P1007	0	0	0	0	0
P1008	0	0	1	0	0
P1009	0	0	0	0	0
P1010	0	1	0	0	0
P1011	1	1	1	1	1
P1012	0	0	0	0	0
P1013	0	0	1	0	0
P1014	0	0	0	0	0
P1015	0	1	0	0	0
P1016	1	1	1	1	1
P1017	0	0	0	0	0
P1018	0	0	0	0	0
P1019	0	0	0	0	0
P1020	0	0	0	0	0
P1021	0	0	0	0	0
P1022	0	0	0	0	0

P1023	0	0	1	0	0
P1024	0	0	0	0	0
P1025	0	1	0	0	0
P1026	1	1	1	1	1
P1027	0	0	0	0	0
P1028	0	0	0	0	0
P1029	0	0	0	0	0
P1030	0	0	0	0	0
P1031	0	0	1	0	0
P1032	0	0	0	0	0
P1033	0	1	0	0	0
P1034	1	0	0	0	0
P1035	0	0	0	0	0
P1036	0	0	0	0	0
P1037	0	0	0	0	0
P1038	0	0	0	0	0
P1039	0	0	1	0	0
P1040	0	0	0	0	0
P1041	0	0	0	1	0
P030	1	1	1	1	1
P031	0	0	0	0	0
P1042	0	0	0	0	1
P1043	0	0	0	0	0
P719	0	0	0	0	0
P536	0	0	0	0	0
P337	0	0	0	0	0
P848	0	0	0	0	0
P945	0	0	0	0	0
P447	0	0	0	0	0
P1044	0	0	0	0	0
P1045	0	0	0	0	0
P056	0	0	0	0	0
P057	1	1	1	1	1
P1046	0	0	0	0	0
P1047	0	0	0	0	0
P1048	0	0	0	0	0

O "place" P1042 libera a continuação do gerenciador do Intertravamento, até que a transição T020 ative a rotina de atualização das saídas do PLC através do conjunto das imagens das saídas do processo. O "Loop" do gerenciador de Intertravamento é então interrompido até que o "place" P027 seja ativado pela mesma.

A Tabela 8.8 apresenta o fluxo de sinais do bloco gerenciador do intertravamento para execução desta tarefa, e o conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P025** - rotina de verificação da emergência ativada

**Place P1042** - prossegue o "Loop" do programa de usinagem

Tabela 8.8 - continuação do "Loop" do gerenciador do Intertravamento

<b>Transição</b>		
<b>Place</b>	cond. inicial	T020
P025	1	0
P1042	1	0
P1046	0	0
P1049	0	0
P026	0	1
P027	0	0

A transição T020 ativa a rotina de atualização das saídas do PLC de acordo com o conjunto das imagens das saídas do processo. O "Loop" do gerenciador de Intertravamento é então interrompido até que o "place" P027 seja ativado pela mesma.

A Tabela 8.9 apresenta o fluxo de sinais da simulação da rotina de atualização das saídas do PLC (Figura 7.16). Também aqui neste caso, estão presentes apenas os places relativos ao comando em questão (abrir a porta de alimentação do torno), e o conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P335** - abre porta (imagem da saída do processo)

**Place P065** - porta fechada (saída física do PLC)

Tabela 8.9 - atualização das saídas do PLC

<b>Transição</b>				
<b>Place</b>	cond. inicial	T020	T020 3	T131 5
P1312	0	1	0	0
P335	1	1	0	0
P064	0	0	1	1
P065	1	1	0	0
P336	0	0	0	0
P1313	0	0	1	0
P027	0	0	0	1

O "place" P027 libera a continuação do "Loop" do gerenciador do Intertravamento e dispara a transição T023, que ativa a rotina para verificação da intervenção do operador (Figura 7.17), se houver necessidade e/ou o operador assim decidir. Note-se que neste exemplo, como o sistema opera em modo "Unmanned production", não há intervenção do operador.

A Tabela 8.10 a seguir ilustra o fluxo de sinais para esta tarefa, sendo o conjunto de condições iniciais:

**Place P028** - rotina para verificação da intervenção do operador ativada

Tabela 8.10 - simulação da intervenção do operador

<b>Transição</b>				
<b>Place</b>	cond. inicial	T023	T140 1	T1403
P028	1	1	1	1
P1400	0	1	0	0
P323	0	0	1	0
P329	0	0	0	0
P1401	0	0	1	0
P332	0	0	0	0
P029	0	0	0	1

O "place" P029 libera a continuação do "Loop" do gerenciador do Intertravamento e dispara a transição T024, que reinicia o processo ativando novamente a rotina para verificação do comando do programa de usinagem (Figura 7.4), e o "Loop" do gerenciador do programa de Intertravamento é interrompido até que P022 seja ativado dentro desta rotina.

Por razões de simplificação, na Tabela 8.11 que apresenta o fluxo de sinais para leitura de comando estão contidos apenas os sinais relativos à leitura do segundo comando do programa CN (bloco2 da Figura 7.4). O conjunto das condições iniciais (places que devem estar ativados inicialmente) é o seguinte:

**Place P021** - indica rotina de leitura de comandos ativa

**Place P343** - primeiro comando já executado (abrir porta)

Tabela 8.11 - leitura do segundo comando do programa de usinagem

<b>Transição</b>				
<b>Place</b>	cond. inicial	T024	T12 01	T121 2
P021	1	1	1	1
P1201	0	1	0	0
P1202	0	0	0	0
P343	1	1	1	0
P399	0	0	0	0
P1133	0	1	0	0
P1049	0	0	0	0



P1044	0	0	0	0
P1203	0	0	0	0
P022	0	0	0	1
P1204	0	0	0	0
P1205	0	0	1	0
P1206	0	0	0	0
P856	0	0	0	0
P899	0	0	0	1
P1122	0	0	1	1
P1049	0	0	0	0
P1044	0	0	0	0
P1207	0	0	0	0
P1208	0	0	0	0

O "place" P022 libera novamente o gerenciador do Intertravamento para executar o segundo comando do programa de usinagem, continuando este processo até que o último comando seja lido e receba então da rotina de comandos do programa de usinagem (Figura 7.4) o comando para desligar o PLC ("place" P003 ativado), ou que a rotina de verificação das condições de emergência (Figura 7.15) envie um comando para reinicializar o sistema.

## Capítulo 9 - Conclusões

A evolução das relações comerciais e do comportamento dos consumidores traz como resultado um mercado cada vez mais competitivo, o que exige das empresas capacidade de responder rapidamente às ações dos competidores e aos anseios dos consumidores. Desta forma, os sistemas produtivos devem apresentar índices sempre crescentes de flexibilidade, os quais demandam a implementação de sistemas de controle com altos índices de inteligência.

Parte importante destes sistemas de controle, os sistemas de intertravamento para máquinas ferramenta não apresentam ainda uma tecnologia completamente consolidada ou formalizada.

O estudo realizado neste trabalho mostra que existem diferenças conceituais entre os sistemas de Intertravamento convencionais e para ambiente de manufatura flexível, diferenças estas que devem ser observadas de forma a garantir a confiabilidade do sistema. Mostra também que alguns tópicos que não apresentam relevância no desempenho de sistemas convencionais tornam-se imperativos quando trata-se dos sistemas de manufatura flexíveis, devido principalmente a possibilidade de atuação em regime totalmente automático (sem a presença de um operador humano).

Foi proposto um roteiro para desenvolvimento de projeto de intertravamento para máquinas ferramenta de forma a permitir uma abordagem metódica e uniforme. Este roteiro foi seguido para desenvolvimento de um sistema de intertravamento para torno CNC em ambiente de manufatura flexível, e mostrou-se adequado ao propósito.

De acordo com o roteiro proposto, o intertravamento foi realizado com base em um estudo prévio de riscos e falhas de operacionalidade a que o

sistema estará sujeito e posteriormente modelado em rede de Petri com o objetivo de simulação.

Este estudo de riscos e operacionalidade mostra sua importância ao permitir a identificação prévia dos mesmos e a inclusão de ações corretivas no sistema de intertravamento. Já o modelo proposto mostrou-se adequado na representação do sistema real, de acordo com a simulação realizada. Em função de sua estrutura modular, pode ser facilmente modificado permitindo adaptação a diferentes configurações, além de permitir também a simulação prévia de novos programas de usinagem a serem executados pela máquina em questão.

O enfoque de arquitetura aberta adotado na confecção do modelo em rede de Petri para simulação permite a implementação do intertravamento em uma larga variedade de sistemas, independente de sua configuração ou do fabricante dos equipamentos.

As redes de Petri mostraram-se uma poderosa ferramenta para simulação de sistemas de controle de eventos discretos, devido algumas de suas características como:

- possibilidade de modelagem de sistemas em níveis inferiores aqueles permitidos pela maioria das outras ferramentas,
- representação dos sistemas em vários níveis de abstração usando a mesma linguagem descritiva,
- permitem utilização de forma analítica ou como uma ferramenta de modelagem gráfica,
- permitem a verificação das propriedades do sistema e apresentação de rotinas de correção utilizando-se de teoria de redes, já bem consolidada.

### **sugestões para trabalhos futuros**

1 - estudos onde sejam incluídos valores temporais para a execução de cada uma das ações do modelo proposto, de forma a estudar-se não apenas as relações lógicas do intertravamento, mas também problemas de sincronismo e possibilidades de ganhos de produtividade

2 - propostas de extensões ao modelo proposto para integração do mesmo em um sistema de manufatura completo

3 - estudos a respeito de padronizações e definições formais para sistemas de controle de eventos discretos

4 - implantação do intertravamento proposto em uma Máquina-Ferramenta e integração da mesma em um sistema de manufatura completo.

## Bibliografia

- [AGOSTINHO, 1991] - Agostinho, O. L.:** Introdução aos Sistemas Flexíveis de Manufatura: notas de aula da disciplina de pós-graduação do SEM-EESC/USP "Sistemas Flexíveis de Manufatura". São Carlos, 1991
- [AGOSTINHO, 1985] - Agostinho, O.L.:** Estudo da flexibilidade dos sistemas produtivos. Tese de doutorado apresentada á EESC/USP. São Carlos, 1985 - 243 pag
- [ANACLETO, 1991] - Anacleto, Júnia Coutinho:** Uma ferramenta para especificação e análise de sistemas concorrentes. Tese de mestrado apresentada ao ICMSC. São Carlos, 1991 - 105 p.
- [ARIKAN, 1990] - Arikan, M. A. Sahir; Totuk, Onat H.:** Design by using machining operations CIRP Annals v 41 n1 p185-188 1992
- [BALLS, 1991] - Balls, B.W.; Gruhn, Paul:** Design considerations for high-risk safety systems. Intech USA, pp 28-32, March 1991
- [BEL et al., 1988] - Bel, G., Cavaille, J.B., Dubois, D.:** Flexible Manufacturing Systems: modelling and simulation. Systems and Control: Encyclopedia, Theory, Technology, Application. p 1642-1649, 1988

- [BIANCHI, 1989]** - Bianchi, Flávio Costa: Aplicações avançadas de controladores programáveis. Controle e instrumentação, pp 51-57, novembro 1989
- [BISWAS e MARKOC, 1991]** - Biswas, Dhruves; Markoc, Badis: Safety system for gas source molecular beam epitaxy. Journal of Cristal Growth v113 n1-2 pp 209-229 Aug 1991
- [CECIL et alli, 1992]** - Cecil, J.A., Srihari, K., Emerson, C.R.: A review of Petri-Net Applications in Manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology pp168-177 v 7 1992
- [CHANDRA e VERMA, 1991]** - Chandra, Vinod e Verma, M.: "A fail safe interlocking system for Railways " - IEEE Design and Test of Computers pp. 58 - 66, march 1991.
- [CHELNOKOV et al., 1990]** - Chelnokov, G.I.; Skvortsov, V.I.; Mironov, L.G.: Water eletrolysis generators for gas-flame working. analysis of flãme proof charcteristics. Chemical and Petroleum Engineering. v25 n9 pp 567-571 May 1990.
- [COSSINS e FERREIRA, 1992]** - Cossins, F. e Ferreira, P.: Celeritas: a coloured Petri net approach to simulation and control of flexible manufacturing systems. International Journal of Production Research pp 1925-1956, vol 30 n 8, 1992
- [CRANMER, 1991]** - Cranmer, David: Implementing a PLC system Pace pp 68-69, octuber 1991
- [DOMBROWSKI, 1991]** - Dombrowski, Leon R.; Johnson, William H. e McCall, Robert - "Separation of interlocking and regulatory control in progammable electronic systems" - ISA Transactions - pp 19-25, vol 30 num 4.
- [FREEMAN, 1989]** - Freeman, Raymond A. - "What shoud you worry about when doing a risk assesment ?"- Chemical Engineering Progress - pp 29-34, november 1989.

- [GENRICH, 1986]** - Genrich, H.J.: Predicate/Transition Nets. Petri Nets: Central Models and Their Properties - Advances in Petri Nets 1986. Lect. Notes in Comp. Sc., v254, 1986, pp 207-247.
- [GERRINI, 1988]** - Gerrini, D. Pereira: Eletrotécnica Aplicada. Vol II. Publicação interna EESC/USP, 1988 - 193 pág.
- [GRUHN, 1991]** - Grhun, Paul - "The pros and cons of qualitative and quantitative analysis of safety systems" - ISA Transactions - pp. 79-86 ,vol.30 num 4, 1991.
- [GROOVER e ZIMMERS, 1984]** - Groover, Mikell P.; Zimmers Jr, E. W.: CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing. Prentice Hall Inc, New Jersey 1984, 489 pág.
- [GROOVER, 1987]** - Groover, Mikell P.: Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing. Prentice Hall Inc, New Jersey 1987.
- [HAYES, 1994]** - Hayes, Robert H.; Pisano, Gary P.: "Uma nova estratégia industrial para quem quer competitividade" Exame, 13 de abril de 1994 pp 78-81.
- [HOLLO, 1985]** - HOLLO, F.R.: Proposed language standards for programmable controllers. Control Engineering pp 260-266, September 1985.
- [KATO, 1994]** - Kato, Edilson R. R.: "Projeto do intertravamento de Centros de Usinagem para Ambiente de Manufatura Flexível." Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. 181 p São Carlos, Setembro de 1994.
- [KLETZ, 1985]** - Kletz, Trevor A. - "Eliminating potential process hazards " - Chemical Engineering - pp. 48-68, april 1985.
- [KOREN, 1983]** - Koren, Yoram: Computer control of manufacturing systems. McGraw Hill Inc, 1983 - 286 pag.
- [KUGLER, 1990]** - Kugler, James C.: Computerized heater level controls and interlocks - A first attempt. Proceedings of American Power Conference USA v52 pp 294-299 1990

- [KUNZLE, 1990] - KÜNZLE, Luis Allan.:** Controle de Sistemas Flexíveis de Manufatura - Especificação dos níveis de equipamento e Estação de Trabalho. Dissertação de mestrado apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Universidade Federal do Paraná Curitiba, Agosto de 1990
- [LEONARDO - a, 1981] - Leonardo, Marcio-a:** Critérios para dimensionamento e configuração de controladores programáveis. Seminário de Instrumentação IPB, 4, Rio de Janeiro pp 603-618, setembro 1981.
- [LEONARDO - b, 1981] - Leonardo, Márcio -b:** Técnica moderna para desenvolvimento de projeto de sistemas de comando em processos industriais. Seminário de Instrumentação IPB, 4, Rio de Janeiro pp 01-24, setembro 1981
- [LEONOV e MEDVEDED, 1987] - Leonov, A. P.; Medvedev, V. S.:** Microprocessor control of the drives of machine tools for machining printed wiring boards. Sov J Comput Syst Sci v25 n6 pp 64-72 Nov-Dec 1987
- [LOHMANN e ZILLMER] - Lohmann, H.J.; Zillmer, A.:** Safety principle and fail-safe analysis of electronic interlocking devices and practical realization of electronic interlocking. Siemens AG.
- [MACHADO, 1987] - Machado, Aryoldo:** Comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta Ícone editora, São Paulo, 1987 - 395 pag.
- [MAIA, 1990] - Maia, L. A. R.:** Técnicas de seleção de controladores (lógicos) programáveis Controle e Instrumentação pp 30-35, janeiro 1990
- [MASSI, 1994] - Massi, Domenico de:** "Sociedade pós industrial exige direito ao lazer" - entrevista concedida á Monica Falcone. O Estado de São Paulo, 6 de março de 1994 pag D3.
- MAXITEC MXT 130-a** Manual Instruções de programação 76 pag.
- MAXITEC MXT 130-b** Manual do Usuário. Instruções de instalação 34 pag.
- MAXITEC MXT 130-c** CNC Maxitec - Sistema 300. catálogo, 21 pag, maio de 1989.



- [MIYAGI, 1993]** - Miyagi, Paulo Eigi : "Controle de Sistemas de Eventos Discretos." Tese de livre docencia apresentada na Escola Politécnica - POLI/USP.174 p São Paulo, 1993.
- [MOODY, 1990]** - Moody, Patricia E.: "Strategic Manufacturin". Homewood, Illinois, USA. Down Jones Irwing Inc, 1990, 383 pag.
- [MORANDIN, 1994]** - Morandin J., Orides.: "Projeto e construção de um Veículo Auto-Guiado para Sistemas de Flexíveis de Manufatura." Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP.122 p São Carlos, Setembro de 1994.
- [MURATA, 1989]** - Murata, Tadao: Petri Nets: Properties, Analysis and Applications Proceedings of IEEE, pp 541-580, v 7 n 4 abril 1989
- [NASCIMENTO, 1994]** - Nascimento, Luiz: O CLP na segunda metade dos anos 90. INSTEC pp 18-19, Abril de 1994
- [NATALE, 1989]** - Natale, Ferdinando: Automação industrial. Editora Nobel : Siemens S.A , São Paulo 1989, 167 páginas.
- [OGASAWARA, 1983]** - OGASAWARA, T.: Prerequisites to the introduction of FMS, Metalworking Engineering & Marketing, p 98-102, September 1983.
- [OKUMURA et al., 1981]** - Okumura, J.: The development of an electronic interlocking system. JNR Quarterly Report v 22, n 4, pp 161-167, 1981.
- [OLIVEIRA, 1993]** - Oliveira, Júlio César Peixoto de: Controlador Programável. Editora Makron Books, São Paulo 1993. 199 páginas.
- [OSHIRO, 1993]** - Oshiro, Osvaldo Tadatomo: "Desenvolvimento de um CNC baseado no microprocessador de 16/32 bits (Motorola 68000) de baixo custo e alta flexibilidade." Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP.243 p São Carlos, Agosto de 1993.
- [PAPENKORT, 1989]** - Papenkort, Franz: Esquemas elétricos de comando e proteção. - Editora Pedagógica e Universitária, 1989. 136 pag.

- [PAQUES, 1991] - Paques, Joseph-Jean** - "The elements of safety for using programmable controllers" - ISA Transactions - pp 67-70, vol 30 num 4.
- [PINE, 1994] - Pine, Joseph:** Personalize ou morra. Revista Exame, Editora Abril. 13 de abril de 1994, pag 91
- [POLITANO, 1993] - Politano, P. R.:** "Especificação e implementação de uma unidade de controle para célula flexível de manufatura. Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. 133 p São Carlos, Agosto de 1993.
- [PORTO, 1985] - Porto, Arthur J. V.:** Introdução ao Controle Numérico - Publicação interna EESC/USP, 1985, 64 pag.
- [PORTO, 1990] - Porto, Arthur J. V.:** Desenvolvimento de um método de integração do planejamento do processo de fabricação e do planejamento e controle da produção, baseado na flexibilidade do processo de fabricação. Tese de doutorado apresentada á EESC/USP. São Carlos, 1990 - 236 pag
- [PROKOPENKO e FEDOTOV, 1989] - Prokopenko, V. A.; Fedotov, A. I.:** Use of NC machines in FMS: Trends and problems. Soviet Engineering Research - pp 79-83, vol 60, n10 - 1989.
- [RANK, 1983] - Rank, Paul** - The Design and Operation of FMS., North-holland Publishing Company - U.K ,1983 343 p.
- [REISIG, 1982] - Reisig, Wolfgang:** Petri Nets - An Introduction, Springer Verlag - West Germany, 1982 161 p.
- [ROUSH et al. 1989] - Roush, Laura; Brackett, R. Quin; Pezoldt, V. J.; Sherrod, Mark G.:** Evaluation of a proposed standardized automotive foot pedal configuration., SAE Transactions v.99, n Sect 6, 1990. pp 171-179.
- [ROZENFELD, 1992] - Rozenfeld, Henrique:** Planejamento de processos assistido por computador. Notas de aula da disciplina de pós-graduação do SEM-EESC/USP "CAPP". São Carlos, 1992.

- [SIKORA e JONES, 1991] - SIKORA, DONALD S.; JONES ,RAY L. :**  
Emergency shutdown system IEEE Transactions on Industry Applications  
v27 n2 pp 254-256 Apr-Mar 1991
- [SLAETS, 1994] - Slaets, Annie F. F.:** Automação de sistemas digitais. Notas  
de aula. Dpto de Eng. Elétrica, EESC/USP, 1994.
- STEP 5: Programming Package for Personal Computers. Manual - Vol 1/2 -**  
Siemens AG., Federal Republic of Germany - 1987)
- [TRAUBOMATIC, 1993] - Traubomatic** Manual de programação e operação  
de Tornos CNC. São Paulo, 1993, 198 pag.
- [TRONCO, 1993] - Tronco, Mário Luiz:** Estudo, projeto e construção de um  
sistema automatizado de coleta e armazenamento de Pallets. Dissertação  
de mestrado apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos -  
EESC/USP.266 p São Carlos, Janeiro de 1993.
- [VERMA, 1989] - Verma, M.R.:** The design and development of a fail-safe  
interlocking system using microprocessor for Indian Railways IEEE Region,  
4 International Conference, 10 Tencon'89 pp 511-514, november 1989.V
- [WECK et al., 1991] - WECK, M.;EVERSHEIN, W.; KONIC, W.; PFEIFER, T.:**  
Production Engineering - the competitive adge. Butterworth- Heinemann  
Ltd, Linacer House, Jordan Hill, 1991.
- [WIEN, 1984] - Wien, Carl H.V.M.:** Comando numérico CNC: técnica  
operacional: curso básico Editora Pedagógica e Universitária/Traubmatic,  
1984 - 176 pag.