

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PFS/MFG A  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO ENXUTA (*LEAN*  
*MANUFACTURING SYSTEMS*)

MYRNA YOSHIE KAGOHARA

Dissertação apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia.

São Paulo  
1998

OK

São Paulo  
1998

Orientador:  
Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

Area de Concentração:  
Engenharia Mecânica/Mecatrônica

Dissertação apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PFS/MFG A  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO ENXUTA (*LEAN*  
*MANUFACTURING SYSTEMS*)

MYRNA YOSHIE KAGOHARA

A Yoshiko e Tomaz, pelo apoio inestimável  
prestado também na realização deste  
trabalho.

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010174

## Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Paulo E. Miyagi, pela orientação e por todo o apoio prestado.

Ao Prof. Takeshi Suzuki, pelo estímulo ao desenvolvimento desta pesquisa.

À Nippondenso Co, Ltd, LATEC (Latin America Technical Exchange Center) e AOTS Association of Overseas Technical Scholarship), pela oportunidade e pelo apoio financeiro para estudo em campo dos sistemas de produção enxuta no Japão.

À FAPESP e ao CNPq, pelo financiamento parcial deste trabalho.

A M. Eng. Cristina T. M. Matsusaki, M. Eng. Julio Arakaki, M. Sc. Marcia F. Tsugawa e Prof. Dr. Marcos R. P. Barreto, sem cujo auxílio a implementação deste trabalho não teria sido possível.

ERRATA referente à dissertação de mestrado

Aplicação da Metodologia PFS/MFG a Sistemas de Produção Enxuta (Lean Production Systems)

Myrna Yoshie Kagohara

Página	Parágrafo/ Linha/ Figura	Onde está	Substituir por
xiv	4º parágrafo 1ª linha	Through the studies on PFS/MFG methodology and the controller implemented, (...)	Throughout the studies on PFS/MFG methodology and the controller, (...)
20	5º parágrafo 4ª linha	(...) e técnicas consagradas para a implementação destes novos tipos de sistemas produtivos.	(...) e técnicas consagradas para a implementação do controle, a nível de chão de fábrica, destes novos tipos de sistemas produtivos.
21	1º parágrafo 1ª linha	(...) Esta metodologia de modelagem para fins de planejamento e controle de (...)	(incluindo-se a análise por simulação) e controle de (...)
21	2º parágrafo 5ª/6ª linhas	(...) um sistema de produção de pequeno porte composto de uma planta-piloto automatizada. O trabalho envolve (...)	(...) um sistema de produção de pequeno porte* composto de uma planta-piloto automatizada. O trabalho envolve (...)
21	2º parágrafo 5ª/6ª linhas	* isto é, indústrias que possuem máquinas novas e também máquinas de 2ª, 3ª e 4ª gerações e em que há baixo capital disponível. † Foi considerada a Célula Integrada de Manufatura instalada no Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP	* inclusão de notas de rodapé * e †:
25	2º parágrafo 3ª/4ª linhas	(...) E a isso que se refere a "limpeza" Genéricamente, o "superfluo" de um sistema produtivo pode ser classificado em:	(...) E a isso que se refere a "limpeza" racionalização destes sistemas de produção. Genéricamente, os custos "superfluos" de um sistema produtivo estão associados a:
25	3º parágrafo 1ª linha	1. Atividades gerais que não agregam valor ao produto: limpeza, manutenção, (...)	1. Atividades gerais que agregam custo e não agregam valor ao produto: limpeza, manutenção, (...)

Página	Parágrafo/ Linha/ Figura	Onde está	Substituir por
59	2º parágrafo 1/2º item	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 1 torno com DNC</li> <li>❖ 1 fresadora com DNC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 1 torno com DNC†</li> <li>❖ 1 fresadora com DNC†</li> </ul>
68	4º parágrafo 5ª linha	modelo de controle da Figura 3.9.	<p>modelo de controle da Figura 3.9, em que o operador está no mesmo nível de hierarquia que uma máquina autônoma.</p>
72	Figura 3.11		
148	1º Parágrafo 1ª Linha	MONTEVECHI, J. A. B.	MONTEVECHI, J. A. B.

# Sumário

1	Introdução.....	15
1.1	Motivações.....	15
1.1.1	Interação do Elemento Humano com o Trabalho.....	16
1.1.2	Manufatura de Classe Mundial.....	17
1.2	Justificativa para o Desenvolvimento do Trabalho.....	20
1.3	Objetivo do Trabalho.....	21
1.4	Estruturação do Texto.....	22
2	Conceitos Fundamentais.....	24
2.1	Sistemas de Produção Enxuta (Lean Manufacturing Systems).....	24
2.2	Operadores em Sistemas de Produção Enxuta.....	28
2.2.1	Multifuncionalidade.....	29
2.2.2	Autonomia.....	30
2.2.3	Sistemas Antropocêntricos de Produção.....	33
2.3	Tecnologia em Sistemas de Produção Enxuta.....	35
2.3.1	Flexibilidade de Sistemas de Produção.....	37
2.3.2	Manufatura Integrada.....	37
2.4	Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção.....	42
2.5	Metodologia PFS/MFG.....	45
2.5.1	PFS – Production Flow Schema.....	45
2.5.2	MFG – Mark Flow Graph.....	47

**Abstract**

**Resumo**

**Lista de Siglas**

**Lista de Tabelas**

**Lista de Figuras**

Anexo 3. Programa de Controle Utilizado nos Testes do Controlador da Célula Integrada de Manufatura .....	146
Referências Bibliográficas.....	149



25	Figura 2.1	Sistema de produção enxuta
32	Figura 2.2	Analogia entre o controle automático e a autonomia do operador
40	Figura 2.3	Manufatura Integrada por Computador
43	Figura 2.4	Hierarquia de atividades em um sistema produtivo
46	Figura 2.5	Elementos do PFS
47	Figura 2.6	Elementos do MFG
53	Figura 2.7	Temporização no MFG
54	Figura 2.8	Conflito no MFG
57	Figura 3.1	Planta organizada em células de fabricação
58	Figura 3.2	Célula de fabricação a ser estudada
59	Figura 3.3	Identificação do fluxo de RPs na cadeia de produção
60	Figura 3.4	Peca fabricada na célula $C_N$
62	Figura 3.5	Atividades na célula $C_N$ em PFS
63	Figura 3.6	Detalhamento das atividades "USINAGEM" e "LIMPEZA" em PFS
65	Figura 3.7	Modelo funcional para análise da célula em MFG
66	Figura 3.8	Modelo em MFG parametrizado para análise da célula
71	Figura 3.9	Modelo utilizado para o controle da célula antropocêntrica
72	Figura 3.10	Modelo de controle para o caso de operador sem autonomia
74	Figura 3.11	Troca de sinais de controle entre o controlador e os equipamentos da célula em MFG, para o modelo de controle da Figura 3.9
76	Figura 3.12	Controle de atrasos e falhas operacionais em sistemas de produção enxuta
78	Figura 3.13	Controle da célula com controle de atrasos e falhas operacionais
82	Figura 4.1	Controle de sistemas de fabricação automatizados
85	Figura 4.2	Célula Integrada de Manufatura – equipamentos de fabricação e controle e layout geral das instalações
86	Figura 4.3	Troca de sinais entre o programa de controle e os equipamentos da planta
88	Figura 4.4	Sistema de controle da Célula Integrada de Manufatura
89	Figura 4.5	Transmissão das informações entre os elementos de controle da célula
92	Figura 4.6	Estrutura de software do controlador
94	Figura 4.7	Ciclo de processamento de um controlador
95	Figura 4.8	Diagrama de N-S do núcleo de controle
96	Figura 4.9	Implementação da comunicação entre o núcleo de controle e a planta

## Lista de Figuras

Figura 5.1 Proposta para macro-elemento com controle de atrasos e falhas operacionais em sistemas de produção enxuta.

103 .....  
 147 ..... Figura A3.1 Representação gráfica do programa TESTE1.MFG

## Diagramas de Nassi-Schneiderman da Documentação do Software (Anexo 2)

114	Rotina BoxRead
114	Rotina TransRead
115	Rotina IoRead
116	Rotina DataInput
116	Rotina InicializeStateCounter
117	Rotina InicializaTransicoes
117	AchaPonteiroBox
117	Rotina AchaPonteiroIoBox
118	Rotina TrataBoxesT
118	Rotina InputTest
118	Rotina OutputTest
119	Rotina GateIntTest
120	Rotina GateExtTest
121	Rotina ConflictTest
121	Rotina MudaEstadoMFG
122	Rotina LimpalBox
122	Rotina VerificaSinalDeSaida
123	Rotina ExecutaGrafoMFG
123	Rotina ImprimeBoxes
123	Rotina ImprimeInterface
124	Rotina ArmazenaEstado
124	Rotina ImprimeRelatorio
125	Rotina NewLine
125	Rotina KernelMsg
126	Rotina KernelErrorMsg
126	Rotina ShowBoxType
126	Rotina NotificaUsuario
127	Rotina IniteEstado
128	Rotina InitInterface

128	Rotina RefreshEstado.....
129	Rotina RefreshInterface.....
129	Rotina MonitorBoxes.....
130	Rotina MonitorInterface.....
130	Rotina InicializaCanal.....
131	Rotina RecebeMensagem.....
131	Rotina InterpretaMensagem.....
132	Rotina CarregaInBox.....
133	Rotina LeCanal.....
133	Rotina ComposeMensagem.....
134	Rotina EnviaMensagem.....
134	Rotina EscreveCanal.....
135	Rotina gera_PID.....
135	Rotina pega_PID.....
135	Rotina obtem_PID.....
137	Rotina le_carac.....
138	Rotina recC.....
138	Programa drv1.c.....
139	Programa veporta.c.....
140	Rotina exibe_mens.....
141	Rotina prox_tecla.....
142	Rotina transmite.....
144	Programa intcel.c.....

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Aplicação do conceito de controle autônomo .....	32
Tabela 2.2	Diferenças entre as abordagens antropocêntrica e tecnocêntrica .....	34
Tabela 2.3	Flexibilidade em um sistema de produção .....	37
Tabela 2.4	Macro-elementos do MFG .....	52
Tabela 2.5	Portas dos macro-elementos do MFG .....	52
Tabela 3.1	Parâmetros do grafo MFG da Figura 3.8 .....	67
Tabela 3.2	Exemplos de análises que podem ser realizadas com a alteração dos parâmetros do modelo generalizado (Figura 3.8) .....	67
Tabela A1.1	Linhas de pesquisa envolvidas no projeto "Automação Industrial" .....	105

## Lista de Siglas

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
C <sub>n</sub>	Célula de fabricação analisada
C <sub>n+1</sub>	Célula de fabricação posterior à analisada, na cadeia produtiva
C <sub>n-1</sub>	Célula de fabricação anterior à analisada, na cadeia produtiva
FMS	<i>Flexible Manufacturing System</i>
MFG	<i>Mark Flow Graph</i>
MRP II	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
N-S	(Diagrama de) Nassi-Schneiderman
PFS	<i>Production Flow Schema</i>
RP	recipiente padronizado
SED	Sistema a Eventos Discretos

Para se tornarem competitivas no mercado atual, as empresas vêm reestruturando seus sistemas de produção de acordo com o paradigma da produção enxuta. Isto implica em uma nova abordagem para as funções dos operadores no chão-de-fábrica, bem como na reestruturação das próprias instalações produtivas. Sistemas de produção concebidos de acordo com esse princípio são também chamados de sistemas antropocêntricos de produção em contraposição aos sistemas centrados na tecnologia das máquinas (tecnocêntricos). Entretanto, para que tais sistemas operem com produtividade e eficiência satisfatórias, são necessárias ferramentas de planejamento e controle de sistemas produtivos adequadas, como aquelas baseadas em Redes de Petri.

Neste trabalho, a metodologia PFS/MFG, derivada das Redes de Petri, é descrita e aplicada à modelagem de um sistema antropocêntrico de produção dentro de um ambiente de produção enxuta. Partindo-se de modelos conceituais, especificados em grafos PFS, são obtidos modelos funcionais, em MFG, para análise e controle do sistema produtivo.

É descrita a implementação de um controlador baseado em PFS/MFG, o qual permite a aplicação direta dos modelos funcionais especificados em grafos MFG ao controle, otimizando a implementação de alterações nos parâmetros de produção, como alteração do tamanho do lote de produção, alteração no mix de produtos, substituição de máquinas, dentre outros.

Através dos estudos sobre a metodologia PFS/MFG e da implementação do controlador, este trabalho demonstra a eficácia da análise de sistemas de produção enxuta baseada em PFS/MFG e indica possibilidades para maior desenvolvimento de pesquisas nesta área.

## Resumo

To attain competitiveness in today's market, companies are increasingly rebuilding their production systems according to the lean production paradigm. This implies in rethinking the role of operators on the shop floor and redesigning the production plant as well. Production systems built according to this principle are the so-called anthropocentric production systems. To achieve satisfactory levels of efficiency and productivity, however, it is necessary to apply suitable planning and production control tools, such as those based on Petri nets. Among these techniques, PFS/MFG is remarkably appropriate for the purposes of this work.

In this work PFS/MFG methodology has been described and applied for modeling an anthropocentric production system within a factory that operates according to the lean production paradigm. Starting from conceptual models specified in PFS graphs, functional models specified in MFG graphs have been attained with the purposes of analysis of production system performance and plant control execution.

A controller based on PFS/MFG was then implemented. Such a controller allows the direct application of functional models specified in MFG graphs optimizing the implementation of changes in production parameters, such as production lot changes, product mix changes, machine replacement, and so on.

Through the studies on PFS/MFG methodology and the controller implemented, this work demonstrates the effectiveness of PFS/MFG-based analysis for lean production systems and indicates possibilities for further development on this research field.

## *Abstract*

## 1 Introdução

Neste capítulo, são apresentadas as motivações, justificativas e objetivos para o desenvolvimento deste trabalho, bem como a organização do texto.

### 1.1 Motivações

A percepção da realidade sócio-econômica e tecnológica mundial tem se tornado um fator cada dia mais crítico para que qualquer atividade produtiva seja conduzida com êxito dada a crescente tendência de globalização de mercados [SEQUEIRA (1990)]. Com o estabelecimento das associações e tratados econômicos internacionais, as barreiras para a circulação de produtos e serviços entre os diversos países praticamente já não existem, o que resulta em uma maior disponibilidade e variedade de produtos aos mercados desses países. Com o aumento da oferta, os fabricantes têm maior preocupação com a diferenciação e a variedade dos produtos, bem como com a distribuição eficiente dos mesmos.

Este panorama de globalização impede as empresas a tomarem uma série de medidas para sobreviverem, como empregar tecnologia mais moderna e eficiente na sua atividade produtiva, satisfazer às exigências internacionais de qualidade, demonstrar preocupação com os aspectos ambientais, dentre outras<sup>1</sup>. A própria avaliação de desempenho das empresas se globaliza com a exigência de certificações de organizações internacionais (como a ISO) e, de modo não-normativo, com o advento do conceito de MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL, [SEQUEIRA (1990)], introduzido no início desta década como a técnica de “*benchmarking*” mais utilizada pelas grandes

<sup>1</sup> Segundo publicado em mostra interna de tecnologia e desenvolvimento da Nippondenso Co. Ltd, no Japão.



corporações. O conceito de Manufatura de Classe Mundial será tratado em detalhes mais adiante.

A necessidade de sobrevivência das empresas nesse mercado globalizado requer a adequação rápida às exigências de mercado que estão em constante evolução. As empresas devem desenvolver sua sensibilidade às variações da demanda para não perderem sua participação no mercado e, para que possam continuar competitivas, é necessário que as corporações estejam em contínuo processo de modernização. Isto envolve não apenas a utilização de tecnologia de máquinas mais avançada (abordagem tecnocêntrica), mas também a modernização da cultura no ambiente de trabalho (abordagem antropocêntrica, descrita por KOVACS; MONIZ (1995)) e a combinação adequada destas abordagens [CAMARINHA-MATOS; AFSARMANESH (1995) (1996)]. As diferenças entre estas abordagens são apresentadas em detalhes no Capítulo 2, *Conceitos Fundamentais*.

### 1.1.1 Interação do Elemento Humano com o Trabalho

As mudanças da cultura no ambiente de trabalho envolvem, dentre outros aspectos, a preocupação com o bem-estar do funcionário. Inicialmente limitada às questões relacionadas à insalubridade das tarefas e à ergonomia, tal preocupação abrange atualmente muito mais que o aspecto físico (de saúde e segurança). Estimulo, satisfação com as atividades realizadas, reconhecimento da dedicação ao trabalho, integração com os colegas, envolvimento com a missão da empresa, bem como outros aspectos, têm influenciado na concepção e na melhoria de ferramentas, equipamentos, sistemas e locais de trabalho nas empresas [COOLEY; CRAMPTON (1987)]. Dada a sua importância, a questão da adequação dos sistemas produtivos ao homem também é considerada extensivamente na avaliação dos sistemas de produção.

Além do aspecto humano, existe a influência da evolução tecnológica: com a crescente automação das plantas industriais, somente funcionários devidamente preparados têm condições de adaptação às inovações tecnológicas introduzidas, em ritmo cada vez mais acelerado, nas instalações. Com a utilização de equipamentos de fabricação mais flexíveis, os operadores devem ter maior capacitação para a operação deles. Isto traz benefícios não somente para a empresa (aumento da flexibilidade e da produtividade da instalação produtiva), mas também ao operador, cujo trabalho deixa as operações repetitivas e passa a ter, predominantemente, tarefas menos mecânicas e mais estimulantes sob o ponto de vista técnico.

Ambientes de trabalho em que o funcionário não é mais um mero recurso de produção facilmente substituível, mas sim o elemento principal do sistema produtivo, vêm sendo implantados com sucesso [ROBOTICS TOWARDS 2000 (1996)]. Como resultado, as empresas têm obtido maior produtividade e, os funcionários, maior satisfação com o trabalho. Este novo paradigma tem sido objeto de diversos estudos sob diferentes abordagens, como: sistemas de automação balanceada [CAMARINHA-MATOS; AFSARMANESH (1995) (1996)], sistemas antropocêntricos de produção [KOVACS; MONIZ (1995) e WOBBE (1996)], sistemas produtivos baseados no homem [COOLEY; CRAMPTON (1987)], dentre outros.

#### 1.1.2 Manufatura de Classe Mundial

MANUFATURA DE CLASSE MUNDIAL, segundo SEQUEIRA (1990), é um termo que vem sendo bastante utilizado para designar o que existe de mais eficiente na indústria de manufatura. Para a avaliação da eficiência dos sistemas produtivos, são utilizados índices de desempenho, ou "benchmarks", calculados de forma padronizada para que se possa estabelecer critérios de comparação consistentes entre as diversas instalações em

todo o mundo. Devido à sua natureza dinâmica, o padrão de desempenho de classe mundial está em constante evolução. Em grande parte, isto se deve à implantação dos chamados programas de melhorias contínuas ("kaizen") nas empresas do setor de manufatura.

Ainda segundo SEQUEIRA (1990), a FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) e a Câmara Americana de Comércio para a América Latina (AmCham) puderam verificar, através de pesquisa conjunta realizada no meio industrial brasileiro, que critérios de avaliação típicos são:

- qualidade do produto
- custo unitário do produto
- giro de estoque
- insatisfação do cliente
- tempo de resposta aos pedidos dos clientes
- tempo médio de preparo das instalações
- tamanho do lote de produção
- porcentagem da capacidade instalada utilizada
- tempo associado ao valor agregado
- custos de reparos/garantia

Para cada um dos critérios de avaliação utilizados na análise de desempenho de classe mundial é definida uma escala. Ou seja, para que uma empresa possa ser considerada de classe mundial em uma área específica, é necessário que o índice obtido através da avaliação segundo o respectivo critério atinja um nível mínimo. Dessa forma, é perfeitamente possível que uma empresa atinja desempenho de classe mundial segundo um determinado critério de avaliação, mas não segundo outros critérios.

Também é necessário considerar o caráter dinâmico do conceito de manufatura de classe mundial, o que implica no fato dos índices obtidos na avaliação segundo os critérios utilizados representarem *hoje* o que está tornando as empresas competitivas, mas não necessariamente indicarem as necessidades de inovação em um horizonte de uma ou mais décadas.

Um indicativo dessa evolução é a preocupação cada vez maior, no meio industrial, com a adoção de técnicas de manufatura mais eficientes. Um dos muitos efeitos resultantes disto é a utilização crescente de novos critérios de avaliação relacionados à abordagem estratégica da qualidade (desde a qualidade de matéria-prima e dos componentes a qualidade de atendimento ao cliente) [GARVIN (1984) (1987) e JURAN; GRYNAL (1980)], e às técnicas de PRODUÇÃO ENXUTA (redução de níveis totais de estoques e do tempo entre a concepção e a comercialização do produto) [WOMACK et al. (1992)].

O termo PRODUÇÃO ENXUTA vem do inglês, "*lean manufacturing*", e refere-se a um sistema de produção "sem gorduras", "enxuto", "desprovido do supérfluo", de acordo com WOMACK et al. (1992). Tal característica permite a maximização da eficiência e da flexibilidade, resultando em respostas mais rápidas às exigências do mercado e, consequentemente, em maior competitividade. Por isso, tais sistemas têm se destacado pela sua eficiência, comprovada pelos elevados índices obtidos na avaliação segundo os critérios mencionados anteriormente. Ao mesmo tempo, oferecem aos seus funcionários um ambiente de trabalho estimulante, com a valorização do elemento humano através do "enobrecimento" do trabalho. Inicialmente concentrados no Japão, os sistemas de produção enxuta agora são numerosos nos Estados Unidos e na Europa. Sua superioridade é notável e não se deve à adoção indiscriminada de ferramentas e técnicas operacionais, mas sim da adoção de um novo paradigma para sistemas de produção. Os

resultados da transição para a produção enxuta têm sido relatados em todo o mundo, mais recentemente na Europa [ROBOTICS TOWARDS 2000 (1996)].

Dada a sua importância atual e suas peculiaridades, os sistemas de produção enxuta serão estudados em mais detalhes, mais adiante. Cabe ressaltar que o histórico e a descrição mais completa dos sistemas enxutos de produção são descritos detalhadamente em WOMACK et. al. (1992).

### **1.2 Justificativa para o Desenvolvimento do Trabalho**

A implantação de sistemas de manufatura competitivos como os citados anteriormente já tem sido conduzida em grandes corporações, inicialmente as japonesas e, mais recentemente, as americanas e europeias. Entretanto, tanto no Brasil quanto no resto do mundo, as economias nacionais são mantidas principalmente por empresas de pequeno e médio porte que precisam ser mais competitivas para poder sobreviver no mercado globalizado.

Com isso, existe a necessidade de aplicação dos conceitos de produção enxuta também nas pequenas e médias empresas e de adequação das técnicas existentes nas grandes corporações a tais empresas. Entretanto, verifica-se que ainda não existem metodologias e técnicas consagradas para a implementação destes novos tipos de sistemas produtivos. De fato, a modelagem, análise e projeto de sistemas produtivos desta natureza, isto é, concebidos, construídos e operados por homens e de acordo com regras também estabelecidas pelo homem, somente foram objeto de estudo nestes últimos anos [CAMARINHA-MATOS; AFSARMANESH (1995) (1996)]. Nesse contexto, chama a atenção a abordagem direta e formal deste tipo de sistema sob a ótica dos sistemas dinâmicos a eventos discretos [CAO; HO (1990), CASSANDRAS; RAMADAGE

(1990), HASEGAWA et. al. (1984) (1985) (1987) (1988), HO (1989) e ITO et. al. (1996)]. E uma das propostas que tem comprovado sua eficiência como ferramenta de modelagem e análise de sistemas produtivos é a teoria de Redes de Petri, descrita por MURATA (1989), PETERSON (1985) e REISIG (1985) (1992). Aplicações a sistemas de manufatura são descritas por exemplo em: ARATA (1994), PELLICER, CARELLI (1996), RIASCOS et. al. (1998) e VENKATESH (1994). Esta teoria foi desenvolvida de forma genérica e em aplicações específicas são definidas diferentes interpretações. No caso de sistemas de manufatura, a metodologia PFS/MFG, descrita por MIYAGI (1996), tem se destacado pela sua aplicabilidade a plantas de diversos portes, notavelmente àquelas de pequeno e médio porte, conforme apresentado por SILVA et. al. (1995). Esta metodologia de modelagem para fins de planejamento e controle de sistemas de produção apresenta as características de flexibilidade e integração exigidas pelos sistemas de produção enxuta e representam uma potencial solução para as pequenas e médias empresas que almejam ser competitivas.

### **1.3 Objetivo do Trabalho**

As motivações e justificativas acima evidenciam que a aplicação de novas técnicas de controle de sistemas de produção é de grande importância para a obtenção de plantas industriais mais competitivas. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é estudar a aplicação da metodologia PFS/MFG para a implementação do sistema de controle, de acordo com o conceito de produção enxuta, de um sistema de produção de pequeno porte composto de uma planta-piloto automatizada. O trabalho envolve especificamente a verificação dos impactos da aplicação do PFS/MFG a sistemas de produção enxuta de pequeno porte.

Este capítulo trata da aplicação da metodologia PFS/MFG à modelagem de uma célula antropocêntrica de fabricação, dentro de um ambiente de produção enxuta, para fins de análise e controle. O processo para obtenção desses modelos é descrito detalhadamente, relacionando os aspectos do sistema de produção à sua devida representação em grafos PFS/MFG. Ao final do capítulo, são compiladas

### Capítulo 3 – Análise e Controle de uma Célula de Fabricação Utilizando PFS/MFG

Neste capítulo são sintetizados os principais conceitos considerados para o desenvolvimento do trabalho. Apresenta-se aqui uma explicação detalhada sobre as características de sistemas de produção enxuta relevantes para o presente estudo e o conceito de flexibilidade no contexto dos sistemas de produção: como pode ser classificada e qual a implicação da existência destas classes de flexibilidade no planejamento de sistemas produtivos. Discute-se os aspectos básicos da integração de sistemas de manufatura, especialmente a interação do sistema de produção com seus sistemas de apoio e introduz-se os conceitos básicos da metodologia PFS/MFG aplicada a sistemas de manufatura.

### Capítulo 2 – Conceitos Fundamentais

Neste capítulo foram apresentadas as motivações, as justificativas e os objetivos para o desenvolvimento do trabalho.

### Capítulo 1 – Introdução

Neste trabalho são descritos os conceitos adotados, propostas desenvolvidas e resultados obtidos, de acordo com a sequência abaixo:

#### **1.4 Estruturação do Texto**

as principais conclusões obtidas no processo de modelagem da célula antropocêntrica de fabricação.

#### Capítulo 4 – Controlador Baseado em PFS/MFG

Neste capítulo são descritas as etapas de projeto, implementação e testes de um controlador baseado em PFS/MFG para a Célula Integrada de Manufatura – uma planta-piloto, descrita detalhadamente no Anexo 1, que se caracteriza pelo heterogeneidade dos recursos de automação de cada equipamento envolvido e a necessidade de interação do operador com estes equipamentos dentro do conceito de produção enxuta. A documentação completa do código-fonte é apresentada no Anexo 2 e o programa utilizado na etapa de testes do controlador está descrito no Anexo 3.

#### Capítulo 5 – Conclusões

São apresentadas as conclusões relativas aos resultados obtidos a a aplicabilidade do PFS/MFG aos sistemas de produção enxuta. São levantadas também algumas propostas para trabalhos futuros.



---

## 2 Conceitos Fundamentais

Este capítulo trata dos principais conceitos e teorias envolvidas neste trabalho. É apresentado o conceito de produção enxuta, abordando detalhadamente os aspectos de mão-de-obra e de tecnologia dos equipamentos produtivos. A descrição da tecnologia concentra-se na flexibilidade e na integração das plantas de produção enxuta. Em seguida, é abordado o controle dessas instalações de produção segundo a óptica dos sistemas antropocêntricos. Na segunda parte do capítulo, é apresentada o PFS/MFG (Production Flow Schema/Mark Flow Graph) como uma metodologia para tratamento do problema do controle de tais sistemas de modo racional, sintetizado e estruturado.

### 2.1 Sistemas de Produção Enxuta (*Lean Manufacturing Systems*)

Conforme já mencionado no Capítulo 1, o termo PRODUÇÃO ENXUTA é uma tradução do termo "*lean manufacturing*", introduzida no trabalho de WOMACK et al. (1992). Essa obra é o resultado de pesquisas do International Motor Vehicle Program, do Massachusetts Institute of Technology, e indica as tendências de evolução dos sistemas de produção em um longo período de tempo, dada a natureza "drástica" da mudança de paradigmas da indústria de manufatura. Uma evidência dos importantes efeitos dessa evolução são os resultados que as indústrias estão divulgando sobre a implantação bem-sucedida em instalações-piloto em suas plantas [ROBOTICS TOWARDS 2000 (1996)]. Um exemplo de sistema de produção enxuta em plena operação é descrito em SAKAKIBARA (1991).

Basicamente, um sistema de produção enxuta pode ser esquematizado pela Figura 2.1. As tarefas de fabricação são realizadas por equipes de trabalho multifuncionais. A tecnologia empregada na planta, ao contrário do que ocorre nos sistemas produtivos

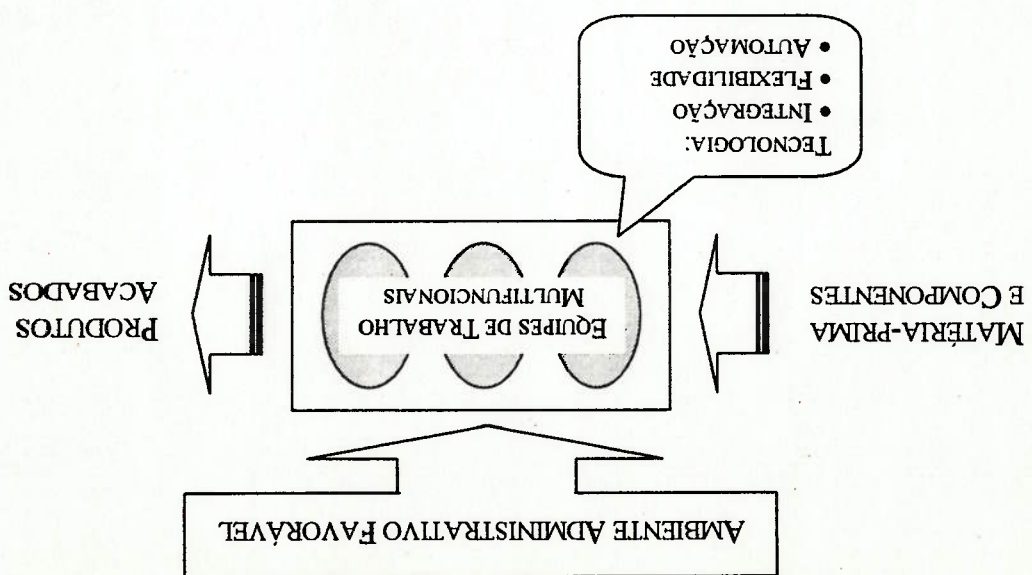


Figura 2.1 Sistema de produção enxuta

convencionais (tecnocêntricos), não visa a eliminação do trabalho humano. Muito pelo contrário, ela é utilizada em função da autonomia operacional dos funcionários responsáveis pelas atividades que efetivamente agregam valor ao produto (abordagem antropocêntrica), conforme descrito por BARFIELD et. al. (1986). E, para que uma planta opere neste esquema, é necessário que os níveis administrativos da empresa proporcionem condições favoráveis.

Um sistema de produção enxuta opera buscando constantemente a eliminação do "superfluo", ou seja, de tudo aquilo que aumenta os custos indiretos de produção. E a isso que se refere a "limpeza" destes sistemas de produção. Genericamente, o "superfluo" de um sistema produtivo pode ser classificado em:

1. Atividades gerais que não agregam valor ao produto: limpeza, manutenção, movimentação de materiais etc. Dentre todas essas atividades, destacam-se aquelas relacionadas às imperfeições do processo, como as atividades de inspeção e retrabalho de itens defeituosos.

2. Excesso de estoques: o maior problema do excesso de estoques de produtos acabados (estoque de saída) é a possibilidade de não-absorção desses produtos pelo mercado. O excesso de estoques de suprimentos (estoque de entrada), por sua vez, pode encobrir defeitos de processamento de matérias-primas e de fabricação dos componentes que, quando descobertos, representam problemas maiores que aqueles que existiriam se tais defeitos houvessem sido descobertos mais cedo. Quanto menores os estoques, tanto de entrada quanto de saída, mais rapidamente são identificados os problemas relacionados aos materiais e, portanto, mais rápida e eficiente a sua solução. Além disso, quanto maiores os estoques, maiores seus custos de manuseio e manutenção.

3. Tempos-mortos de produção: a demora na preparação das instalações (*setup*), a quebra de equipamentos e o problema de disponibilidade dos operadores, dentre outros fatores, reduzem o tempo de atividade das instalações de produção, acarretando em queda de produtividade.

A eliminação daquilo que é "superfluo", entretanto, só é possível quando os funcionários de chão de fábrica têm plena consciência de seu trabalho. Na seção 2.2, *Operadores em Sistemas de Produção Enxuta*, são descritas detalhadamente as características do modo como trabalham esses funcionários.

De acordo com WOMACK et. al. (1992), os sistemas de produção enxuta buscam a "perfeição" do processo e do produto através da manutenção somente daquilo que esta diretamente relacionado à atividade produtiva em si. Nesse contexto, a qualidade do produto não se traduz apenas pelos conceitos convencionais, associados à ideia de "excelência inata", mas sim de um compromisso entre a qualidade percebida e os custos de sua obtenção. A qualidade do produto é um tópico extensivamente pesquisado por ter

importância estratégica para as empresas. Uma das abordagens mais eficientes é a das "oito dimensões da qualidade", descrita detalhadamente em GARVIN (1984) (1987). As OITO DIMENSÕES DA QUALIDADE são a base de uma análise que se mostra mais adequada aos objetivos estratégicos das empresas, por ser independente do ponto de vista das várias partes envolvidas em todo o ciclo de vida do produto, da concepção à comercialização. Entretanto, tais diferenças de pontos de vista representam obstáculos à resolução de problemas de qualidade, bem como ao desenvolvimento de uma estratégia de qualidade a nível corporativo [DERRICK et al. (1989)].

Além de terem instalações de produção com respostas rápidas às solicitações de mercado, as indústrias mais competitivas também se destacam por terem ciclos de desenvolvimento de produtos cada vez mais curtos e eficientes. O projeto de novos produtos é realizado por equipes de desenvolvimento multidisciplinares e em um ambiente de engenharia simultânea para que nenhum dos aspectos envolvidos na colocação do produto no mercado seja perdido de vista durante todo o seu desenvolvimento. São envolvidos profissionais das áreas de design, marketing, projeto do produto e fabricação, bem como representantes dos fornecedores. As técnicas de análise e engenharia de valor, bem como a utilização de componentes padronizados dentro da filosofia de semelhança e famílias de componentes da Tecnologia de Grupo [KAGOHARA (1992a) e MONTEVECHI (1995)], agilizam a colocação de novos produtos no mercado.

Para a implantação de tamanhas inovações nas filosofias de projeto e de processo, é necessário que os setores administrativos da empresa operem com plena consciência dos objetivos "enxutos", tomando todas as medidas necessárias para que a fábrica possa operar de modo eficiente no novo esquema. Além de cuidar da capacitação dos

operadores segundo os novos conceitos, deve-se planejar todo o sistema de suprimento e distribuição, essencial para o sucesso do sistema enxuto, dado o tamanho reduzido dos estoques. É necessário implantar um sistema em que os materiais "fluam continuamente da entrada à saída da fábrica", conforme descrito em SAKAKIBARA (1991). Para tanto, é essencial um compromisso a longo prazo entre a fábrica e seus fornecedores desde o início do desenvolvimento dos produtos para garantir (1) a qualidade, (2) a pontualidade e (3) a regularidade das entregas de componentes e matérias-primas. Da mesma forma, o sistema logístico de entrega de produtos aos pontos de venda ou diretamente aos clientes deve ser eficiente o bastante para garantir que a fábrica ira operar o mais próximo possível do fluxo contínuo de materiais.

As características do sistemas de produção enxuta proporcionam às indústrias uma vantagem competitiva maior, de modo que as indústrias de manufatura têm apresentado uma preocupação crescente na migração para este novo paradigma para a indústria, conforme indicado em ROBOTICS TOWARDS 2000, (1996).

## **2.2 Operadores em Sistemas de Produção Enxuta**

Uma fábrica enxuta tem como elemento básico a equipe de trabalho multifuncional (abordagem antropocêntrica), conforme indicado na Figura 2.1. As características básicas dos funcionários dessas equipes de trabalho são (1) a multifuncionalidade e (2) autonomia, que serão discutidos a seguir.

### **2.2.1 Multifuncionalidade**

A multifuncionalidade é essencial ao trabalho em equipe nos sistemas de produção enxuta. Os funcionários de uma equipe de trabalho desse tipo recebem qualificações em todos os serviços de sua equipe. Dessa forma, quando um dos funcionários se ausentar

do serviço por qualquer motivo, seus colegas se reorganizam para que o trabalho atribuído à equipe continue sendo realizado, sem interrupção da produção. Ou seja, os tempos-mortos da produção são reduzidos e a possibilidade de rotatividade de funções dentro da equipe torna o trabalho mais estimulante, contribuindo para o aumento de produtividade.

Também é necessário o treinamento em operações simples de manutenção. Dessa forma, cada equipe de trabalho se responsabiliza pela manutenção diária (que consiste normalmente de limpeza, lubrificação e pequenos ajustes) das instalações sob sua responsabilidade e pela realização de pequenos reparos quando da ocorrência de alguma quebra durante o turno de produção, efetuando também os registros necessários para a programação da manutenção preventiva dos equipamentos.

Outra incumbência dos membros da equipe é a reposição dos materiais necessários para a realização do serviço. Toda vez que é necessário repor os componentes e materiais de processo, um membro da própria equipe é encarregado de reabastecer a estação de trabalho. Dessa forma, elimina-se a mão-de-obra indireta de reabastecimento da linha e, principalmente, os materiais são requisitados à medida que são necessários, evitando acúmulo ou falta de materiais na estação de trabalho.

Uma capacitação adicional dos funcionários em um sistema de produção enxuta é a de efetuar o controle de qualidade, recebendo treinamento especializado e sendo conscientizado da responsabilidade que têm para a garantia dessa qualidade. Além disso, segundo JURAN; GRZYNA JR. (1980), quando o controle de qualidade é realizado diretamente no processo produtivo, os problemas são eliminados no momento em que ocorrem, por duas razões: (1) o problema é identificado antes de sua propagação

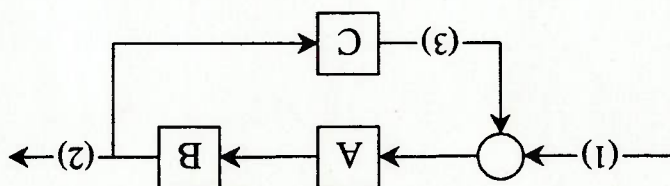
e, (2) quando identificado, os profissionais mais aptos a resolvê-lo estão próximos e disponíveis para solucioná-lo.

Para que se possa usufruir plenamente de todas essas qualificações, o treinamento dos funcionários enfatiza o estímulo à criatividade e à iniciativa. Dessa forma, as soluções para as falhas do processo e os problemas de qualidade são encontradas mais rapidamente, tornando o ambiente propício para os programas de melhorias contínuas, que são extremamente importantes para manter a empresa em uma posição competitiva favorável.

## 2.2.2 Autonomia

O conceito de autonomia é universal e de grande importância. Basicamente, a idéia é delegar a autonomia adequada aos níveis mais baixos da hierarquia da fábrica, ou seja, aos que estão diretamente envolvidos com a produção. Dessa forma, os níveis administrativos da hierarquia ficam liberados de grande parte das tarefas de controle operacional e os gerentes podem se dedicar ao máximo ao trabalho criativo e ao controle operacional da instalação, já que a parte funcional é realizada pelos funcionários da fábrica. JURAN, GRZYNA JR. (1984) indicam que a criação de um estado de autonomia envolve um ambiente em que o indivíduo ou sistema:

- (1) saiba exatamente o que deve fazer,
- (2) saiba exatamente o que está realmente sendo realizado e
- (3) tome as medidas corretivas.



NATUREZA DO ELEMENTO	CONTROLE REALIMENTADO	AUTONOMIA DO OPERADOR
(A)	ELEMENTO DE CONTROLE	INDIVÍDUO
(B)	INSTALAÇÕES CONTROLADAS	EQUIPAMENTOS DE PROCESSO
(C)	ELEMENTO DE REALIMENTAÇÃO	CONTROLE DE QUALIDADE
TIPO DE INFORMAÇÃO	(1) SINAL DE REFERÊNCIA	O QUE FAZER
(2)	SAÍDA CONTROLADA	O QUE ESTÁ SENDO REALIZADO
(3)	SINAL DE REALIMENTAÇÃO	MEDIDAS DE CONTROLE

Figura 2.2 Analogia entre o controle automático e a autonomia do operador

Tabela 2.1 Requisitos para autonomia de funcionários, segundo JURAN; GRANA JR. (1984)

DEVE SER CAPAZ DE...		PROJETO DE PRODUTOS	FABRICAÇÃO	SERVIÇO DE CAMPO
<b>SABER O QUE DEVE FAZER</b>	Ter dados completos sobre as necessidades do usuário e dos ambientes de operação com dados mensuráveis sobre a confiabilidade e a facilidade de manutenção, se necessário.	Ter uma definição clara e completa do valor desejado e da variação permitida para cada característica do produto.	Ter dados completos sobre a habilidade de manutenção do usuário com dados mensuráveis sobre a facilidade de manutenção, se necessário.	
<b>SABER O QUE ESTÁ REALIZANDO</b>	Receber realimentação suficiente sobre os erros de seleção de componentes, definição do ambiente, dentre outros, para facilitar a ação corretiva.	Receber realimentação suficiente sobre os erros de fabricação para facilitar as ações corretivas.	Receber realimentação detalhada sobre os erros em manuais e procedimentos de manutenção para facilitar a ação corretiva.	
<b>TOMAR MEDIDAS DE CONTROLE</b>	Receber informações sobre a capacidade dos materiais e componentes disponíveis e fundos para programas de desenvolvimento, quando necessário.	Receber equipamentos que sejam capazes de satisfazer as especificações do produto.	Receber capacitação para manutenção, bem como ter à sua disposição equipamentos e componentes adequados.	



A Figura 2.2 ilustra a analogia entre os conceitos de controle realimentado e de autonomia do operador. Em sistemas de produção enxuta, a situação de autonomia é análoga à de um sistema de controle realimentado em tempo real. Nos sistemas de produção convencionais, o controle operacional pode ser realimentado ou não, mas em qualquer uma dessas situações ele não é efetuado em tempo real.

A Tabela 2.1 exemplifica os requisitos para autonomia aplicado a funcionários de projeto, fabricação e serviço de campo.

Entretanto, o estado de autonomia, por si só, não garante que esse controle será efetivo; ainda existe a necessidade de dois fatores complementares: a capacitação e a motivação dos funcionários. A questão da capacitação está relacionada com o que foi tratado no item 2.2.1, *Multifuncionalidade*. A motivação, por sua vez, requer que seja estabelecido um ambiente de comprometimento mútuo entre a empresa e os funcionários, possibilitando a mobilização destes no sentido de colaborar com a empresa para que seu planejamento estratégico seja cumprido.

### 2.2.3 Sistemas Antropocêntricos de Produção

Um dos grandes méritos dos sistemas de produção enxuta, além da racionalização de conceitos para o aumento de produtividade e qualidade, é o resgate da satisfação com o trabalho. A importância e as implicações dessa satisfação são discutidas por COOLEY; CRAMPTON (1983). Os funcionários de chão de fábrica, por terem autonomia e serem dotados de criatividade e iniciativa, exercem um trabalho que não se resume à realização de uma operação repetitiva de fabricação ou montagem; ao invés disso, esse trabalho reveste-se de responsabilidade e envolvimento maiores por parte do funcionário, que deixa de ser um elemento passivo no processo de produção.

Com essas inovações no papel do operador, torna-se evidente a existência de uma nova abordagem para o planejamento e a operação dos sistemas de produção, que vem sendo abordada em muitas pesquisas. Dentre elas, destacam-se aquelas dedicadas aos chamados SISTEMAS ANTROPOCÊNTRICOS DE PRODUÇÃO [KOVACS; MONIZ (1995) e WOBBE (1996)]. Nesta abordagem, a tecnologia deixa de ser um fim em si mesma para tornar-se uma ferramenta para auxiliar o homem, que agora utiliza seu poder de criação e decisão para realizar as tarefas relativas ao processo de produção. A tabela 2.2 apresenta, de forma resumida, as principais características dessa abordagem e as suas diferenças em

Tabela 2.2 Diferenças entre as abordagens antropocêntrica e tecnocêntrica, segundo KOVACS; MONIZ (1995).

ABORDAGEM ANTROPOCÊNTRICA	ABORDAGEM TECNOCÊNTRICA
Introdução de novas tecnologias como complemento para capacidades humanas específicas, com o objetivo de aumentar a flexibilidade funcional, a qualidade dos produtos e a vida produtiva.	Introdução de novas habilidades pela tecnologia, levando à redução da capacidade e a queda da motivação dos funcionários de chão de fábrica.
Melhora da qualidade e da estabilidade dos recursos humanos em todos os níveis, para melhorar a exploração de todos os potenciais oferecidos pela nova tecnologia.	Substituição das habilidades pela tecnologia, levando à redução da capacidade e a queda da motivação dos funcionários de chão de fábrica.
Soluções técnicas descentralizadas.	Soluções técnicas centralizadas.
Práticas de trabalho flexíveis baseadas em princípios como descentralização, separação horizontal e vertical de tarefas e especialização de competência.	Práticas de trabalho rígidas, baseadas em princípios como centralização, separação horizontal e vertical de tarefas e especialização de competência.
Limites flexíveis.	Hierarquia rígida e limitações profissionais.
Novo profissionalismo a nível operacional: autonomia para efetuar tarefas diferentes e complexas, capacidade para resolução de problemas, criatividade e autonomia individual ou em grupo.	Participação passiva a nível operacional: execução de tarefas simples.
Integração de partes de empresas através de treinamento, socialização, comunicação, cooperação e acesso fácil a informações, participação na tomada de decisões e autonomia.	Integração de unidades de empresas através de centralização computadorizada de informações, decisões e controle.

relação à abordagem convencional, chamada de *abordagem tecnocêntrica*, em que a tecnologia dos equipamentos é o elemento principal do sistema de produção.

Algumas das pesquisas sobre sistemas antropocêntricos de produção têm sido orientadas às instalações produtivas de empresas de pequeno e médio porte – que, de fato, são muito importantes no papel de base para as economias nacionais. Nesse sentido, destacam-se as investigações relacionadas ao desenvolvimento e à aplicação de metodologias de projeto de sistemas de controle automatizado de produção para pequenas e médias indústrias. Uma dessas metodologias, que tem se mostrado eficiente, é o PFS/MFG (Production Flow Schema/Mark Flow Graph), descrita em MIYAGI (1988) (1996). Esta metodologia apresenta, como grandes vantagens, características de flexibilidade e integração, conforme será descrito na seção 2.5.

Entretanto, para que se possa compreender perfeitamente como o PFS/MFG se adequa aos sistemas antropocêntricos de produção e, conseqüentemente, aos sistemas de produção enxuta, é necessário esclarecer a importância dos aspectos de flexibilidade e integração em tais sistemas. Esses aspectos tecnológicos serão abordados na próxima seção.

### 2.3 Tecnologia em Sistemas de Produção Enxuta

As plantas de produção enxuta empregam soluções tecnológicas avançadas para apoio às equipes de trabalho multidisciplinares, visando facilitar a redução dos níveis de estoque, o aumento da produtividade, a redução ou eliminação do retrabalho e a redução da mão-de-obra indireta. Tais soluções caracterizam-se, em grande parte, pela utilização de equipamentos e dispositivos automatizados.

A automação de tarefas apresenta uma série de vantagens, dentre elas a alta repetibilidade, precisão e rapidez. Quando empregada em sistemas de produção enxuta, a automação é melhor aproveitada que quando aplicada em plantas que não passaram por processos de racionalização deste tipo.

A determinação do grau de automação a ser empregado na planta não deve perder de vista o equilíbrio de uma série de fatores técnicos, dentre eles: o "throughput" das instalações, a satisfação dos requisitos de qualidade do produto, as condições de

Tabela 2.3 Flexibilidade em um sistema de produção, segundo STADZISZ (1990)

TIPO DE FLEXIBILIDADE	CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS DE FLEXIBILIDADE
Flexibilidade de máquina	Capacidade da máquina em poder processar não apenas uma peça específica, mas sim um universo de peças semelhantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo de troca de ferramentas</li> <li>Tempo de fixação de peças</li> </ul>
Flexibilidade de processo	Capacidade de um sistema de processar várias peças, utilizando seus diversos recursos de maneiras diferentes, em combinações diferentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de peças que podem ser processadas simultaneamente no sistema,</li> </ul>
Flexibilidade de roteiro	Capacidade de um sistema de produção de poder executar um roteiro de uma peça de mais de uma maneira - por exemplo, empregando máquinas diferentes para a mesma operação de fabricação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observação da taxa de produção na ocorrência de falhas no sistema.</li> </ul>
Flexibilidade de volume	Capacidade do sistema de processar diferentes volumes de modo eficiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise dos volumes mínimos economicamente viáveis.</li> </ul>
Flexibilidade de produto	Capacidade de "assimilação" do processamento de novos produtos, dadas as mesmas instalações.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medição do tempo de transição para a produção do novo mix de produtos.</li> </ul>
Flexibilidade de expansão	Capacidade de incorporar novos equipamentos aos processos de produção.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análise da dimensão máxima que o sistema pode atingir.</li> </ul>
Flexibilidade de transferência	Capacidade de variação dos fluxos de materiais internamente ao sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação da malha de caminhos que podem ser seguidos pelos produtos dentro do sistema produtivo.</li> </ul>

trabalho dos funcionários, a flexibilidade das instalações e o grau de integração interna e externa à planta. Estes dois últimos aspectos são tratados nesta seção. Os demais fatores mencionados estão relacionados à aplicação das técnicas de produção enxuta à fábrica.

### 2.3.1 Flexibilidade de Sistemas de Produção

A consideração dos aspectos de flexibilidade nos sistemas de manufatura tem se tomado cada dia mais importante [STADZISZ (1990)]. É necessário abordar a flexibilidade dos sistemas de produção de um modo mais sistemático para facilitar o planejamento e a operação das instalações produtivas, sejam elas automatizadas ou não. Deve-se levar em conta também que os custos relacionados à flexibilidade são elevados, de modo que o sistema produtivo não deve ter flexibilidade maior que a necessária.

Nesse sentido, vários autores têm estudado a sistematização da flexibilidade [KEOGH (1987) e PRIMROSE; LEONARD (1986)]. A Tabela 2.3 apresenta um resumo desses estudos proposto em STADZISZ (1990) sobre a flexibilidade em sistemas de manufatura. A segunda coluna apresenta a conceituação do tipo de flexibilidade indicado na primeira coluna; a terceira coluna indica quais são os parâmetros utilizados na avaliação do tipo de flexibilidade indicado. Com base nesses parâmetros de análise, é possível determinar de modo objetivo o grau de flexibilidade adequado para o sistema produtivo, evitando o excesso de flexibilidade e, portanto, eliminando os custos desnecessários.

### 2.3.2 Manufatura Integrada

Em sistemas de produção enxuta, as informações sobre o estado atual do sistema produtivo devem representar fielmente a situação dos materiais dentro da fábrica e ser disseminadas rapidamente para os envolvidos no controle do fluxo de materiais. Dessa

forma, a fábrica está integrada aos setores de distribuição e administração e também tem seus elementos integrados entre si, garantindo o funcionamento de todo o sistema de produção. SAKAKIBARA (1991) descreve uma planta em que esta integração foi implantada e garante o funcionamento satisfatório do sistema de produção enxuta.

Nesse exemplo, são utilizados dois tipos de integração: visual e por computador. A integração visual é efetuada através de sinalizadores nas máquinas e de painéis luminosos, os chamados painéis "andom". Os sinalizadores nas máquinas indicam seu estado operacional: em operação normal, ociosa, com problemas temporários, com problemas mais sérios. Os painéis "andom" são visíveis de qualquer ponto da planta, permitindo aos funcionários identificar o estado de qualquer setor da instalação, a qualquer instante.

Dada a relativa sensibilidade a falhas apresentada por um sistema de produção enxuta, a integração visual é muito importante em tais sistemas, pois, a princípio, qualquer operador tem a autonomia para solucionar problemas funcionais em qualquer setor da planta, agilizando o retorno ao estado de operação normal. Dessa forma, quando ocorre algum problema, os funcionários deve cooperar para solucioná-lo, deslocando-se diretamente ao local onde ocorreu o problema e contribuindo para a resolução deste

A integração por computador, por sua vez, promove a troca de dados eletrônicos entre os diversos setores da instalação de produção e entre as instalações de produção e os setores administrativos e de projeto e de desenvolvimento. Assim, a situação de todo o sistema de manufatura pode ser prontamente avaliada a qualquer momento e quaisquer intervenções de emergência podem ser realizadas rapidamente.

Essa integração caracteriza a MANUFATURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (ou CIM - *Computer Integrated Manufacturing*), que foi descrita formalmente pela primeira vez em 1973, no livro homônimo de Joseph Harrington. A APICS (American Productivity and Inventory Control Society) definiu CIM como sendo "a aplicação de um computador para fazer a ponte entre vários sistemas computadorizados e ligá-los a um todo coerente e integrado. Por exemplo, orgânicos, CAD/CAM, controles de processos, sistemas de Tecnologia de Grupo, MRP II, sistemas de relatórios financeiros, etc. estariam ligados e teriam uma interface". Os sistemas CIM são tratados detalhadamente em TEICHOLZ, ORR (1987). A Figura 2.3 ilustra os elementos de um sistema CIM, que são descritos a seguir.

❖ CAD/CAE (Computer Aided Design/Computer Aided Engineering) – Conforme já mencionado, o produto é desenvolvido por uma equipe multidisciplinar trabalhando em um ambiente de engenharia simultânea. Os membros desta equipe têm à sua disposição ferramentas computacionais integradas para concepção de produtos, que são genericamente chamadas de CAD/CAE. A utilização dessas ferramentas traz os benefícios de agilizar a elaboração e a distribuição das especificações de fabricação, além de facilitar a reutilização de projetos e a utilização de componentes padronizados. Casos particulares de especificações são os desenhos de fabricação e as árvores de produto.

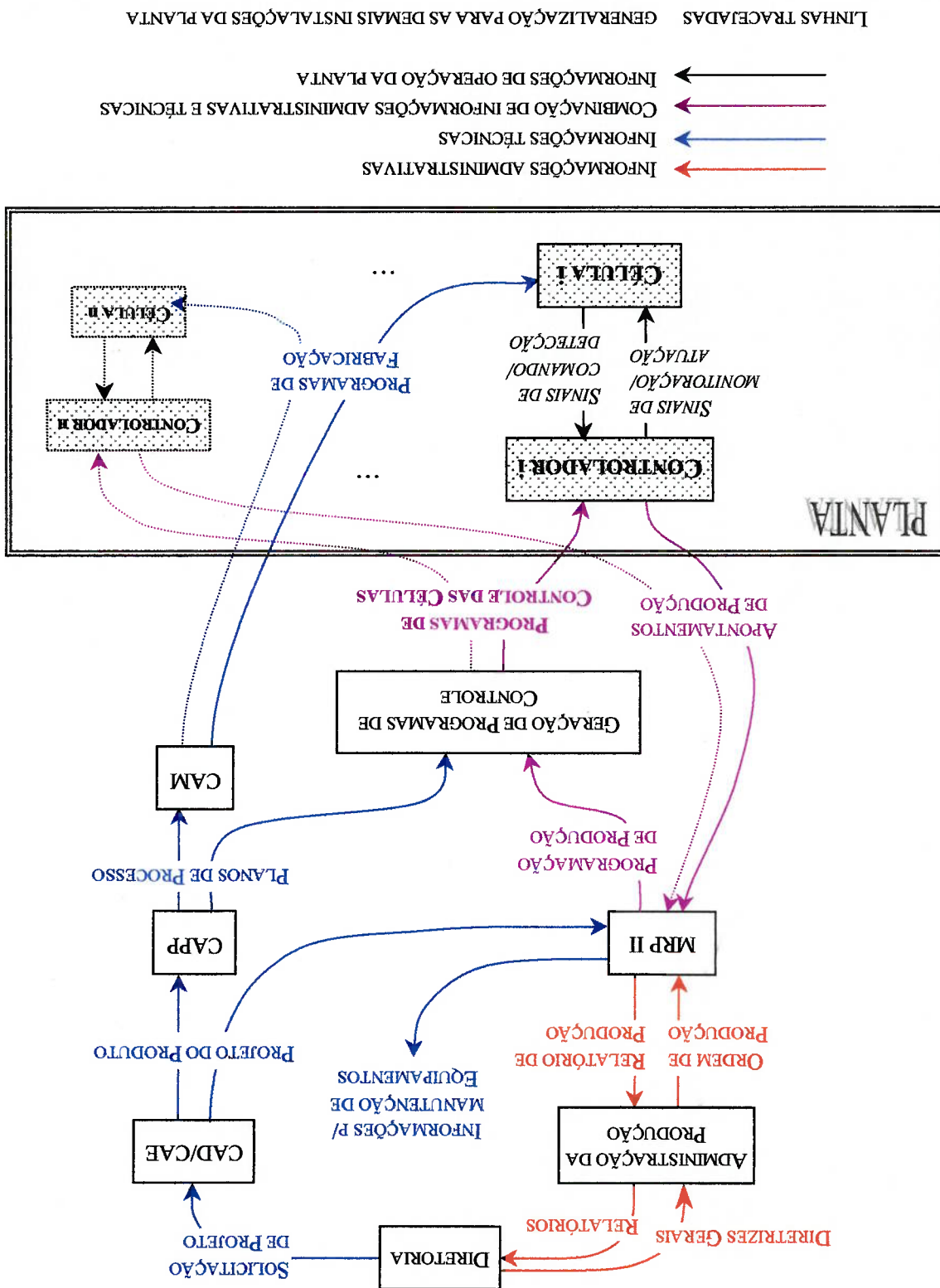


Figura 2.3 Manufatura Integrada por Computador

LINHAS TRACEJADAS GENERALIZAÇÃO PARA AS DEMAIS INSTALAÇÕES DA PLANTA



- ❖ **CAPP (Computer Aided Process Planning)** – A partir das especificações de fabricação, são elaboradas as especificações dos planos de processo, isto é, dos processos de fabricação e sua sequência. Um sistema CAPP é utilizado para gerar os planos de processo em uma representação independente das máquinas-ferramenta, como APT (Automatically Programmed Tools) para assegurar a flexibilidade e autonomia do sistema.
- ❖ **CAM (Computer Aided Manufacturing)** – Um sistema CAM converte as informações geradas com auxílio do CAPP em programas dos equipamentos disponíveis na planta. Ou seja, a forma genérica de processamento é convertida em instruções específicas para cada equipamento utilizado. Sistemas de integração CAD/CAM são descritos detalhadamente em GROOVER; ZIMMERS (1984).
- ❖ **MRP II (Manufacturing Resources Planning)** – Este sistema envolve o MRP (Materials Requirement Planning), efetuando a “explosão” das árvores de produto e o controle dos componentes, da compra ao produto acabado. Trata-se de um elemento essencial quando se deseja manter o giro de estoque elevado, mantendo o equilíbrio entre compras, vendas e produção. O MRP II envolve também, dentre outras coisas, a programação-mestra da produção, o planejamento de requisitos de capacidade e os sistemas de apoio à produção.
- ❖ **Geração de programas de controle: Envolve o “scheduling” e a elaboração de programas para os controladores programáveis de instalações de fabricação a partir dos dados dos produtos e da ordem de produção. As instalações de fabricação podem ser, tipicamente, um FMS (*Flexible Manufacturing System*), como nos sistemas descritos por SAKAKIBARA (1991), ou uma célula flexível de fabricação, que é o caso estudado neste trabalho.**

Conforme indicado na Figura 2.3, em um sistema de manufatura integrada existem informações administrativas, técnicas e híbridas. O programa de controle das instalações de produção se enquadra na última dessas categorias. No caso das plantas antropocêntricas, o controle das instalações de produção tem peculiaridades importantes, conforme será abordado na próxima seção.

## **2.4 Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção**

Em sistemas antropocêntricos de produção, deve-se considerar, além das informações administrativas e das informações técnicas, o poder de decisão (grau de autonomia) atribuído aos operadores. BARFIELD et. al. (1986) realizaram estudos detalhados sobre a interação entre o homem e os sistemas computadorizados de controle de FMSs, indicando que, para que este tipo de sistema de controle seja bem-sucedido, é necessária a utilização de metodologias de projeto e técnicas de controle adequadas que assegurem a boa interação entre o homem e os demais elementos de um sistema automatizado de fabricação, garantindo assim a inexistência de contradições e situações de autotramamento e bloqueio, dentre outras.

Tais metodologias devem representar adequadamente as características de integração, envolvendo o fluxo de informações, o fluxo de materiais e os demais componentes de um sistema de manufatura integrada. Também devem dar suporte adequado à flexibilidade do sistema de produção, essencial para os ambientes de produção enxuta.

Segundo MIYAGI (1988), o processo de produção pode ser caracterizado pelo fluxo de materiais nas instalações produtivas, à medida que são submetidos às operações de fabricação. Sob este ponto de vista, o processo de produção pode ser decomposto em um conjunto de ATIVIDADES e CONDIÇÕES inter-relacionadas. Estas inter-relações devem ser explicitamente representadas no modelo de controle do sistema. Neste contexto, uma

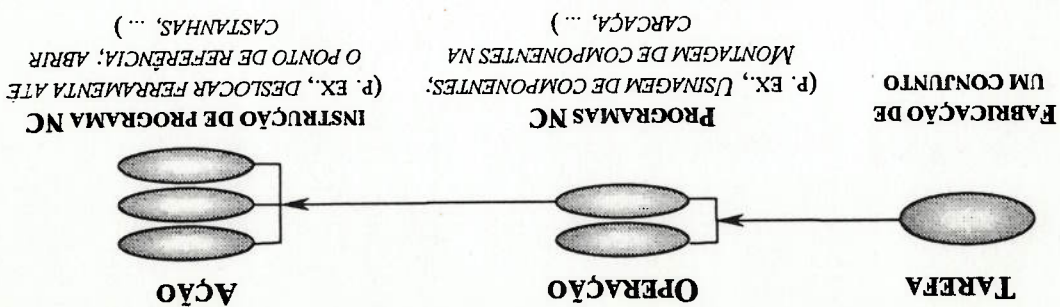


Figura 2.4 Hierarquia de ATIVIDADES em um sistema produtivo

ATIVIDADE está relacionada a uma operação de produção e uma CONDIÇÃO, a um estado no processo de produção. Assim, os sistemas de produção se caracterizam por elementos de natureza discreta, ou finita (ATIVIDADES e CONDIÇÕES), podendo ser estudados sob o enfoque de sistemas a eventos discretos [CAO, HO (1990), CASSANDRAS, RAMADAGE (1990), HASEGAWA et. al. (1984) (1985) (1987) (1988), HO (1989) e ITO et. al. (1989)].

Ainda segundo MIYAGI (1988), as ATIVIDADES em um sistema de produção têm diferentes níveis conceituais, que geram uma estrutura hierárquica, de acordo com a Figura 2.4. O texto na parte superior indica os níveis hierárquicos, do mais alto ao mais baixo (da esquerda para a direita), e o texto na parte inferior indica exemplos para cada um desses níveis. Desta forma, as instruções do programa de controle das instalações devem ser detalhadas até o nível de operações, visto que as ações são programadas e executadas em cada um dos equipamentos de produção, cabendo ao controlador da célula apenas o sequenciamento das operações entre os equipamentos.

Em relação ao modelo de controle da planta, os seguintes pontos devem ser observados:

1. O modelo deve representar as características, funções e operações do sistema de modo claro e uniforme.

2. O modelo deve representar o sistema do nível conceitual ao detalhado, de acordo com a estrutura hierárquica das ATIVIDADES do sistema.
  3. O modelo deve ser um modo efetivo para troca de informações entre os elementos do sistema integrado de produção.
  4. O modelo deve ter técnicas eficientes de análise e projeto.
- A elaboração do modelo, por sua vez, deve considerar que sua estrutura hierárquica deve ter:

- ❖ independência entre os níveis hierárquicos;
- ❖ confiabilidade;
- ❖ modularidade, flexibilidade e capacidade de expansão;
- ❖ facilidade de manutenção e de reaproveitamento.

A nível operacional, o modelo deve ser capaz de suportar assincronismo, sequencialização, paralelismo, concorrência e interrupções, e não deve ter os chamados estados-mortos nem redundância de informações.

As técnicas baseadas em Redes de Petri, descritas em MIYAGI (1996), MURATA (1989), NAGAO et. al. (1996), PETERSON (1985) e REISIG (1985) (1992), apresentam grande aplicabilidade a especificação do controle de sistemas flexíveis de fabricação. Em particular, a técnica do PFS/MFG (Production Flow Schema/ Mark Flow Graph), descrita em MIYAGI (1988) (1996) e SANTOS Fº (1993), foi escolhida por se tratar de uma aplicação das Redes de Petri à modelagem de sistemas produtivos

com boa experiência em aplicações práticas. Esta metodologia é apresentada na seção a seguir, *Metodologia PFS/MFG*.

## **2.5 Metodologia PFS/MFG**

O PFS [*Production Flow Schema*, MIYAGI (1988)] foi desenvolvido baseado nas características de controle de sistemas a eventos discretos, apresentadas na seção anterior, e nas implicações sobre os requisitos para o modelo de controle do sistema produtivo. A partir do modelo conceitual do sistema representado por um grafo PFS, realiza-se o detalhamento das ATIVIDADES até o nível desejado utilizando o MFG (*Mark Flow Graph*, HASEGAWA et. al. (1984) (1985) (1987) (1988)). Tanto o PFS quanto o MFG são interpretações de redes de Petri para sistemas de manufatura e, assim, herdam o poder de representação e as técnicas formais de análise de grafos. Quando são utilizados equipamentos de fabricação programáveis, é realizado o detalhamento das atividades até o nível de operação, visto que as ações são especificadas pelo programa de controle do equipamento.

### **2.5.1 PFS – Production Flow Schema**

O PFS é uma rede de Petri do tipo DISTRIBUIÇÃO-ATIVIDADE, ou CANAL-AGÊNCIA, segundo REISIG (1992), concebida com o objetivo de representar o fluxo de itens (materiais ou informações), os tipos de ATIVIDADES e suas inter-relações. Desta forma, um grafo PFS é uma representação conceitual de um sistema produtivo, baseado nos fluxos de materiais e informações nas instalações de fabricação.

Os elementos do PFS são representados na Figura 2.5. São eles:

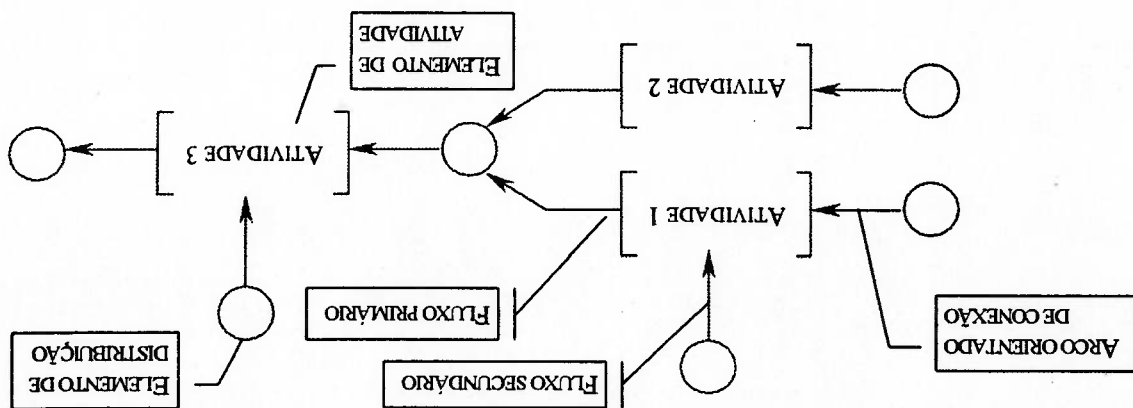


Figura 2.5 Elementos do PFS

- ❖ ELEMENTO DE DISTRIBUIÇÃO: Cada elemento de distribuição representa um componente passivo do sistema, capaz de armazenar, permanecer em determinados estados ou tornar os itens visíveis.

- ❖ ELEMENTO DE ATIVIDADE: Cada elemento de atividade representa um componente ativo do sistema, responsável pela produção, transporte ou modificação dos itens. Passam pelos elementos de ATIVIDADE dois tipos de fluxos: PRINCIPAL e SECUNDÁRIO, associados à natureza de cada atividade. Por exemplo, o FLUXO PRINCIPAL pode estar associado aos materiais e, o FLUXO SECUNDÁRIO, às informações. O fluxo de itens secundário não é obrigatório nos elementos de atividade.

- ❖ ARCO ORIENTADO DE CONEXÃO: Os arcos orientados indicam uma conexão lógica ("causa e efeito"), direitos de acesso e conexões diretas. Um arco nunca representa um componente real do sistema, mas uma relação lógica, abstrata, entre os componentes.

O MFG é uma ferramenta de modelagem do comportamento dinâmico do sistema, com capacidade para representar assincronismo, sequencialização, paralelismo, concorrência e intertravamentos. Dada a natureza do MFG, uma rede de Petri do tipo CONDIÇÃO-EVENTO, pode-se desenvolver um modelo dinâmico livre de estados-mortos (ou

## 2.5.2 MFG – Mark Flow Graph

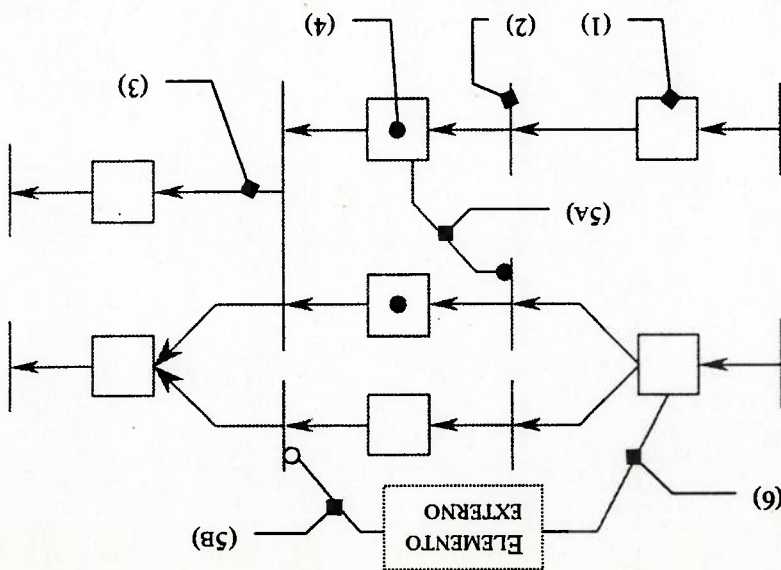
explicado na próxima seção.

Por se tratar de uma descrição conceitual, as informações sobre o comportamento dinâmico do sistema modelado não são representadas. Para tanto, este modelo conceitual é refinado para uma descrição funcional, o MFG (Mark Flow Graph).

interpretação específica para o modelo elaborado.

No PFS, os elementos de atividade e os elementos de distribuição são conectados mutuamente através dos arcos orientados. Deve-se observar que elementos de mesmo tipo não podem ser conectados diretamente uns aos outros. Além disso, cada um destes elementos recebe inscrições em linguagem natural ou formal, indicando sua

Figura 2.6 Elementos do MFG



“DEADLOCKS”) apesar do incremento na redundância de informações, segundo MIYAGI (1996). Ou seja, trata-se de uma ferramenta de modelagem adequada para a representação da dinâmica de sistemas de controle.

Os elementos do MFG estão representados na figura 2.6. São eles:

1. BOX: Indica uma CONDIÇÃO e é representado por um quadrado vazado.
2. TRANSIÇÃO: Indica um EVENTO e é representada por uma barra.
3. ARCO ORIENTADO: Conecta boxes e transições para indicar a relação entre uma CONDIÇÃO e os pré e pós EVENTOS que o definem. É representado por uma seta. Arcos de saída são os arcos conectados no lado da saída de um box ou uma transição; arcos de entrada são os arcos conectados no lado da entrada de um box ou transição.
4. MARCA: Indica a manutenção de uma condição; é representada por um ponto negro no interior do box correspondente a esta condição.

5. PORTA (arco de disparo ou “gate”): habilitam ou inibem a ocorrência dos eventos correspondentes às transições, sendo denominadas HABILITADORAS ou INIBIDORAS, conforme sua natureza. Estas, por sua vez, podem ser sub-classificadas em PORTA EXTERNA ou PORTA INTERNA, de acordo com a origem do sinal. A PORTA HABILITADORA (5a) é uma porta que possui um círculo negro na extremidade conectada à transição. Quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”, esta porta habilita a transição em que está conectada. A PORTA INIBIDORA (5b) é uma porta que possui um círculo branco na extremidade conectada à transição. Quando o sinal de origem for equivalente ao valor binário “1”, esta porta inibe a



transição em que está conectada. A origem do sinal de uma porta interna é um box. A existência de uma marca neste box equivale ao valor binário "1" e quando não existir marca no box, tem-se o valor binário "0". A origem do sinal de uma PORTA EXTERNA não faz parte do grafo, ou seja, ela indica a entrada de um sinal binário gerado por algum dispositivo externo.

6. ARCO DE SINAL DE SAÍDA: este arco envia um sinal binário do box para os dispositivos externos ao grafo e é representado por uma linha que conecta estes dois elementos. Quando existir uma marca neste box, o sinal equivale ao "1" binário; quando não existir, o sinal equivale ao "0" binário.

Para efetuar a modelagem utilizando o MFG, devem ser observadas as seguintes regras:

- ❖ Os boxes e as transições são necessariamente conectados de forma intercalada através dos arcos orientados.

- ❖ Não existe limite para o número de arcos que entram ou saem dos boxes e das transições. Mas, em um par transição-box ou transição-elemento externo, pode existir no máximo apenas 1 arco entre estes elementos.

- ❖ As portas e arcos de sinal de saída são formas de representação explícita das condições de controle.

Um grafo MFG modela o comportamento dinâmico de um sistema através das chamadas regras de disparo de transições - ou seja, pela ocorrência dos eventos associados a elas. Os elementos que descrevem a evolução dinâmica de um grafo MFG são a marcação, a habilitação para disparo e o disparo em si, descritos a seguir:

### Marcação

O estado de um sistema pode ser representado pelo arranjo das marcas no grafo, que define uma MARCAÇÃO. A MARCAÇÃO INICIAL é definida pelo arranjo de marcas no estado inicial do sistema, em que no máximo apenas uma marca pode estar no interior de cada box. Se a marcação inicial não contiver nenhuma marca, ela é denominada MARCAÇÃO-INICIAL-0.

O comportamento dinâmico do sistema é representado pela alteração dos estados causada pela ocorrência de eventos. Para que isto seja representado no MFG, definem-se a seguir as regras de disparo de transições, que correspondem à ocorrência de eventos.

### Habilitação de Disparo

Uma transição está habilitada para disparo se as seguintes condições são TODAS satisfeitas:

- ❖ não existe box no lado de saída contendo marcas;
- ❖ não existe box no lado da entrada sem marcas;
- ❖ não existe porta habilitadora interna que esteja no estado de desabilitação;
- ❖ não existe porta inibidora interna que esteja no estado de inibição.

Uma transição que está habilitada para disparo é chamada TRANSIÇÃO HABILITADA. Uma transição que não satisfaz a uma dessas condições não está habilitada e é denominada TRANSIÇÃO DESABILITADA.

*Disparo*

Uma transição é denominada DISPARÁVEL se ela é uma transição habilitada e não possui nenhuma porta habilitadora externa no estado de desabilitação e nenhuma porta inibidora externa no estado de inibição.

Se uma transição é disparável, ela dispara imediatamente, com exceção de casos que envolvem conflito e temporizações. Estes casos serão discutidos mais adiante.

No disparo de uma transição, as marcas no interior de todos os boxes no lado de entrada da transição disparável desaparecem e, imediatamente, surgem marcas no interior de todos os boxes no lado de sua saída. Considera-se que o disparo ocorre instantaneamente.

Desta forma, é impossível que mais de uma transição seja disparada simultaneamente; isto é, no MFG os disparos são discretos no tempo, existindo uma relação de precedência entre eles. Esta ordem de precedência é denominada SEQUÊNCIA DE DISPARO e a ordenação está baseada nessa sequência temporal.

## 2.5.3 Tópicos Complementares do MFG

O MFG é uma técnica de modelagem genérica para sistemas a eventos discretos. Para simplificação do modelo de sistemas de produção, foram criados macro-elementos que representam situações comuns nas plantas de fabricação. Além disso, foi introduzido o conceito de tempo, extremamente importante para fins de simulação para análise de desempenho. Estas duas extensões são descritas nesta seção.

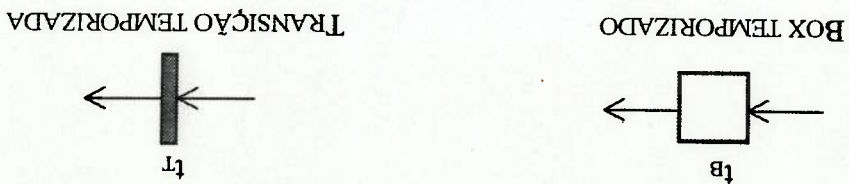


Figura 2.7 TempORIZAÇÃO no MFG

Tabela 2.4 Macro-elementos do MFG – definidos por MIYAGI (1996)

Símbolo	Condição necessária para disparo de t1	Condição necessária para disparo de t2	Resultado do disparo de t1	Resultado do disparo de t2
BOX CAPACIDADE	$n < N$	$n > 0$	$n^{(depois)} = n^{(antes)} + 1$	$n^{(depois)} = n^{(antes)} - 1$
BOX AGRUPADOR	$n < N$	$n = N$	$n^{(depois)} = n^{(antes)} + 1$	$n^{(depois)} = 0$
BOX DISPERSOR	$n = 0$	$n > 0$	$n^{(depois)} = N$	$n^{(depois)} = n^{(antes)} - 1$

Tabela 2.5 Portas dos macro-elementos do MFG – definidas por MIYAGI (1996)

Símbolo	Porta habilitadora indicada por n	Porta habilitadora indicada por N	Porta inibidora indicada por n	Porta inibidora indicada por N
BOX CAPACIDADE	habilita quando $n < 0$	habilita quando $n = N$	inibe quando $n > 0$	inibe quando $n = N$
BOX AGRUPADOR				
BOX DISPERSOR				

### *Modularização*

Os boxes, no MFG, têm capacidade unitária. Entretanto, na modelagem de sistemas de fabricação, boxes que possam conter mais de uma marca são úteis para representar operações de manipulação de vários itens, como por exemplo a montagem de componentes ou os locais para armazenamento temporário de conjuntos acabados. A modularização do MFG fornece uma representação explícita e precisa das funções de cada elemento do sistema modelado, adicionando informações práticas ao modelo.

Os macro-elementos do MFG modularizado são representados na Tabela 2.4 e as condições de habilitação e inibição de suas portas, na Tabela 2.5. Em ambas as tabelas,  $N$  é a capacidade do box e  $n$  é o número de marcas contidas pelo box no instante em que a situação é ilustrada. Mais detalhes podem ser vistos em [MATSUSAKI (1998)].

### *Temporização*

O conceito de temporização foi adicionado ao MFG através de dois elementos: a transição temporizada e o box temporizado, descritos a seguir e representados na figura 2.7.

❖ **BOX TEMPORIZADO:** quando uma marca aparece neste tipo de box, a transição conectada em sua saída fica disparável somente após decorrido um intervalo de tempo ( $t_B$ ).

❖ **TRANSIÇÃO TEMPORIZADA:** Uma vez que todas as condições de disparo estejam satisfeitas, esta transição só dispara após decorrido um intervalo de tempo ( $t_T$ ). Se, durante este tempo, uma das condições deixar de ser satisfeita, a contagem de tempo é anulada e será reiniciada somente após todas as condições estarem novamente satisfeitas.

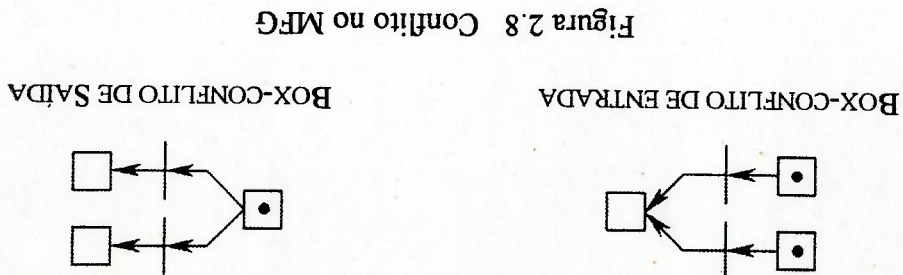
*Tratamento de Conflitos*

No MFG, pode haver convergência ou ramificação no fluxo do grafo, caracterizadas pela conexão de várias transições a um box, no mesmo lado (entrada ou saída), conforme indicado pela Figura 2.8. O box de convergência ou ramificação é chamado de BOX-CONFLITO DE ENTRADA ou BOX-CONFLITO DE SAÍDA, conforme o caso. Nessa situação, as transições estão em relação de CONCORRÊNCIA. Quando duas ou mais transições conectadas ao BOX-CONFLITO são disparáveis, as transições entram em CONFLITO.

Quando existe conflito, apenas uma das transições pode disparar. Para determinar qual delas irá disparar, deve ser utilizado um mecanismo de arbitragem. No MFG, esse mecanismo pode ser implementado (1) através da conexão de portas ou arcos direcionados entre transições em conflito ou (2) através da conexão a elementos externos que implementam as regras de arbitragem.

*Estados-mortos ("DEADLOCKS")*

Os estados mortos do MFG são aqueles em que nenhuma transição está habilitada para disparar. Tais estados podem ser atingidos depois que uma sequência de disparos ocorre a partir de uma marcação inicial, e podem ser (1) inerentes à estrutura do grafo ("DEADLOCK" ESTRUTURAL) ou (2) devidos a uma marcação inicial inadequada



("DEADLOCK" CONDICIONAL). Em geral, estados-mortos durante a evolução dinâmica do MFG denotam situações indevidas para o sistema e devem ser eliminados.

#### 2.5.4 Considerações Gerais Sobre PFS/MFG

A metodologia PFS/MFG é uma ferramenta de modelagem do controle de sistemas de produção onde, a partir do nível conceitual, na elaboração do modelo PFS, detalha-se o nível funcional, quando o MFG é derivado a partir do PFS. Com a utilização das extensões do MFG, o processo de modelagem de sistemas de produção é facilitado, resultando em maior rapidez para elaboração do modelo. O modelo obtido, por sua vez, é mais compacto que aquele obtido com a utilização da forma não-modularizada do MFG facilitando também as alterações que possam ser necessárias.

O próximo capítulo ilustra o processo de modelagem com o PFS/MFG, com aplicação desta metodologia a um sistema de produção enxuta.

### 3 Análise e Controle de um Sistema de Produção Enxuta

Diversos trabalhos onde a metodologia PFS/MFG é utilizada para modelagem de sistemas de manufatura confirmam sua efetividade para a análise e a especificação de estratégias de controle [ARAKAKI (1993), HASEGAWA et al. (1984) (1985) (1987) (1988), LIU (1993), KAGOHARA et al. (1994a) (1994b), KAGOHARA; MIYAGI (1992), MIYAGI (1988), MIYAGI et al. (1990) (1993a) (1998) e SANTOS F.º (1993) (1998)]. Entretanto, nestes trabalhos o enfoque está no controle a nível de chão de fábrica. Aspectos organizacionais, como o conceito de produção enxuta, são pouco explorados.

De modo geral, a aplicação racional e sistemática do PFS/MFG para análise e controle de sistemas de fabricação consiste na execução das seguintes tarefas:

- ❖ identificação das principais ATVIDADES de transformação de itens (materiais e/ou informações);

- ❖ detalhamento dos fluxos de itens entre as ATVIDADES;

- ❖ detalhamento das ATVIDADES, identificando as SUB-ATVIDADES;

- ❖ introdução dos elementos de controle de recursos e

- ❖ detalhamento dos sinais trocados entre o sistema de controle e a planta.

Este capítulo apresenta o estudo da aplicação do PFS/MFG e aplicado para análise e controle de uma célula de fabricação dentro de um ambiente de produção enxuta. São discutidos os principais pontos relacionados à análise do sistema produtivo, com base



no modelo funcional obtido, bem como os pontos relacionados ao controle de células antropocêtricas de fabricação através de um modelo PFS/MFG.

### 3.1 Descrição do Caso a Ser Analisado

Considera-se um sistema de produção enxuta, operando no sistema "kanban", organizado em células de fabricação automatizadas operadas por funcionários multifuncionais. Tal sistema de produção pode ser esquematizado pela Figura 3.1, em que as setas indicam o fluxo de componentes (peças, partes, itens etc.) na planta. Nessas instalações, considera-se que as células representadas pelos blocos retangulares em preto, organizadas em linhas, realizam o processamento de componentes a partir de matérias-primas e suprimentos. Cada uma das seqüências horizontais de blocos representa a fabricação de um componente, sendo que cada célula está associada a uma etapa do processo. Um estudo detalhado sobre a modelagem e a simulação de sistemas "kanban" com o MFG foi realizado por MASUDA (1988). Aqui, entretanto, serão

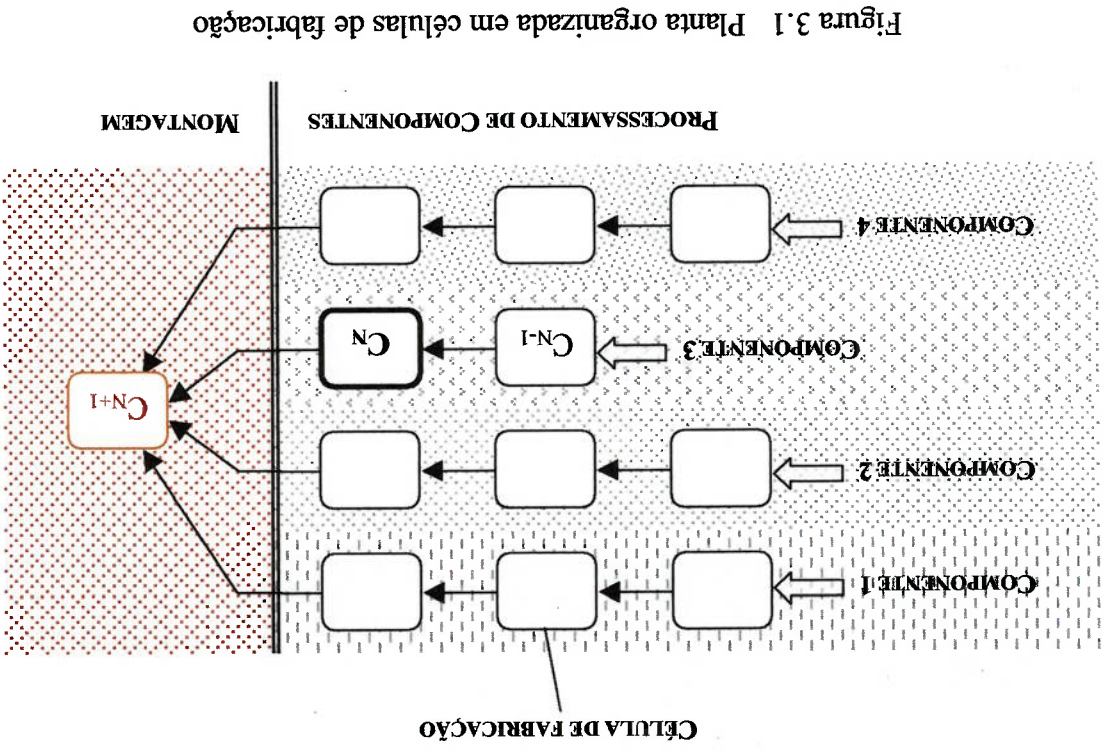


Figura 3.1 Planta organizada em células de fabricação

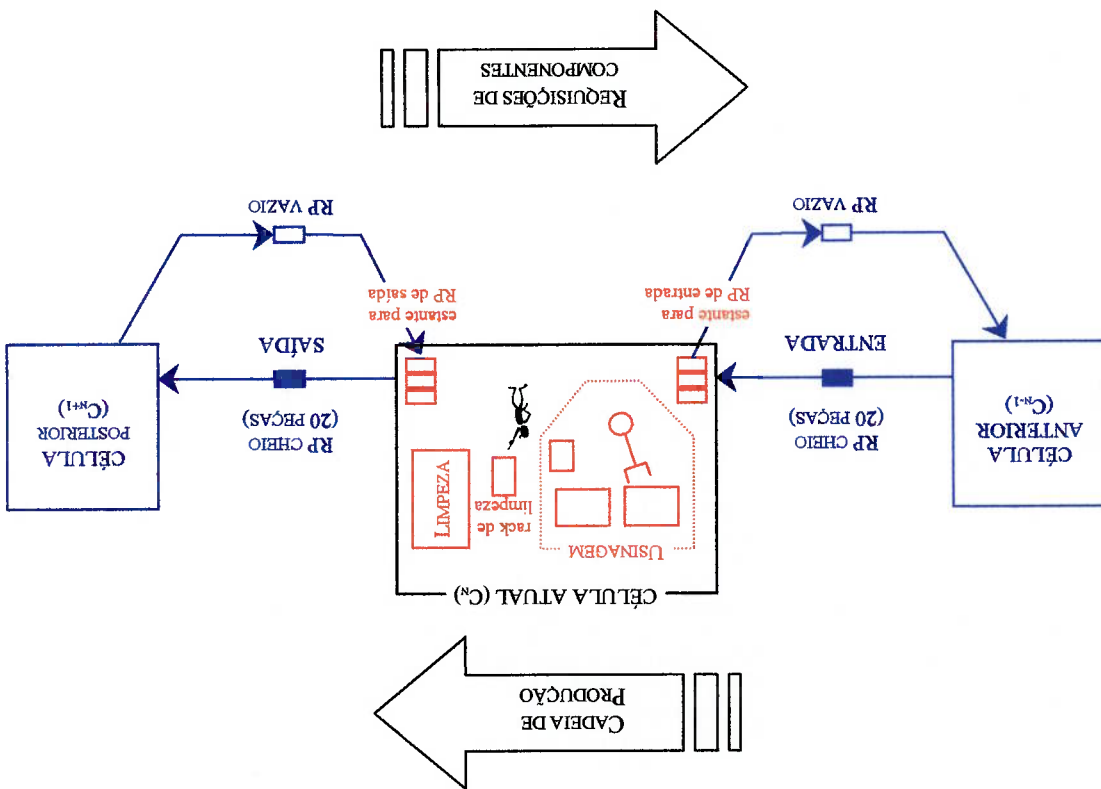


Figura 3.2 Célula de fabricação a ser estudada

consideradas apenas as implicações da aplicação do sistema “kanban” no controle das operações de fabricação.

Todos os componentes processados são utilizados pela célula mais à direita da Figura 3.1, representada por um bloco retangular em vermelho, que efetua a montagem do produto final deste sistema produtivo. Organizadas desta forma, as células compõem uma cadeia de produção em que os materiais (peças, partes, itens etc.) fluem da esquerda para a direita (Figura 3.1).

Uma célula de fabricação genérica, como por exemplo a célula destacada na Figura 3.1, será considerada para a modelagem através da utilização do PFS/MFG. Sua representação esquemática é fornecida na Figura 3.2, em que podem ser identificados o fluxo de materiais, que segue a cadeia de produção (da esquerda para a direita), e o

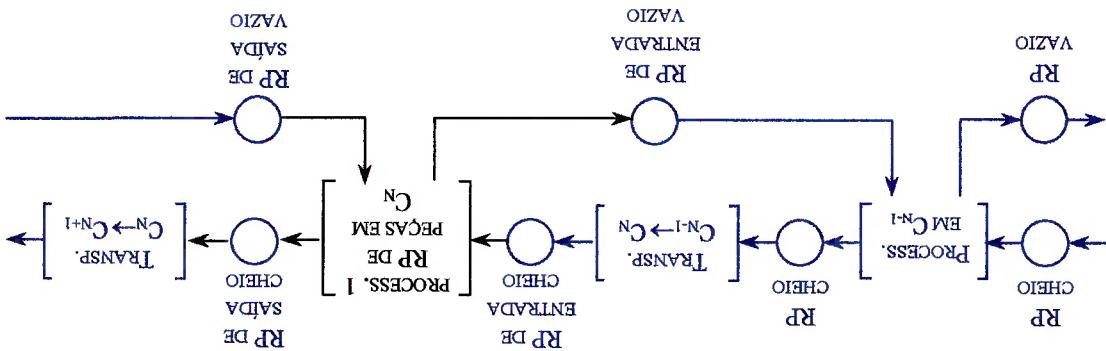


Figura 3.3 Identificação do fluxo de RPs na cadeia de produção através do PFS

fluxo de requisições de componentes, no sentido oposto (da direita para a esquerda). Nesta figura, a célula estudada é chamada de célula C<sub>N</sub>. A célula anterior na cadeia de produção é chamada de C<sub>N-1</sub> e a célula posterior, de C<sub>N+1</sub>.

O fluxo de materiais entre as células é controlado por recipientes padronizados (RPs). Neste exemplo, a nomenclatura desses RPs tem como referência a célula C<sub>N</sub>. Dessa forma, os RPs utilizados para transportar peças da célula C<sub>N-1</sub> para a célula C<sub>N</sub> são chamados de RP DE ENTRADA de C<sub>N</sub>. Analogamente, os RPs utilizados para transportar peças da célula C<sub>N</sub> para a célula C<sub>N+1</sub> são chamados de RP DE SAÍDA de C<sub>N</sub>. A capacidade dos RPs determina o tamanho do lote de produção. No caso deste exemplo, a capacidade considerada para os RPs de entrada e de saída é de 20 peças.

O fluxo dos RPs entre as células é descrito pelo PFS da Figura 3.3. Nesta figura, verifica-se que C<sub>N</sub> solicita peças em bruto a C<sub>N-1</sub> da mesma forma que a célula C<sub>N+1</sub> solicita componentes a C<sub>N</sub>. De acordo com a solicitação, o RP de entrada de C<sub>N</sub> cheio é enviado para C<sub>N</sub>, para que o processamento dos componentes possa ser iniciado. Depois disso, o RP de saída de C<sub>N</sub> estará cheio e o RP de entrada de C<sub>N</sub> estará vazio. A célula C<sub>N+1</sub> sinaliza uma requisição de produção para a célula C<sub>N</sub> enviando um RP de saída

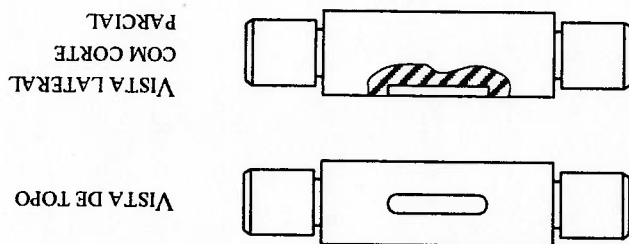


Figura 3.4 Peça fabricada na célula  $C_N$

vazio. Analogamente, a célula  $C_{N-1}$  recebe uma requisição de produção quando a célula  $C_N$  envia um RP de entrada de  $C_N$  vazio.

A peça considerada neste caso e que é fabricada na célula  $C_N$  é apresentada na Figura 3.4. Seu processo de fabricação consiste de torneamento da peça em bruto, seguido do fresamento do rasgo de chaveira, realizado nas instalações representadas em vermelho na

Figura 3.2, que são compostas por:

- ❖ 1 torno DNC.
- ❖ 1 fresadora DNC.
- ❖ 1 robô manipulador.
- ❖ 1 câmara para limpeza das peças usinadas.
- ❖ Recursos adicionais:
  - ⇒ Estante de entrada, com capacidade para 3 RPs.
  - ⇒ Estante de saída, com capacidade para 3 RPs.
  - ⇒ Rack para limpeza das peças.

⇒ Mesa para armazenamento temporário de peças usadas aguardando limpeza.

Considera-se que a usinagem das peças na máquina DNC é totalmente automatizada; ou seja, depois de fornecidas as peças em bruto, não é necessária nenhuma intervenção do operador (salvo em caso de problemas operacionais) até que as peças estejam completamente usadas. As operações de carregamento e descarregamento das máquinas são realizadas por um robô manipulador. As peças são usadas uma a uma.

Após a usinagem, as peças são limpas com ar comprimido. Todo o lote é limpo de uma vez, em uma câmara fechada, sem a necessidade da assistência direta do operador. Para efetuar a limpeza, as peças são colocadas em um rack especial antes de serem introduzidas na câmara de limpeza. O manuseio das peças e do rack não são automatizados.

Esta célula é operada por um operador multifuncional, responsável por:

- ❖ abastecer e acionar o processo de usinagem;
- ❖ abastecer, acionar e descarregar a operação de limpeza;
- ❖ encaminhar o RP de saída de  $C_N$  para  $C_{N+1}$

Além disso, o operador é responsável por intervenções que possam ser necessárias para a operação adequada do sistema produtivo, por exemplo para efetuar procedimentos de manutenção em caso de falhas na operação das máquinas e em situações de emergência.

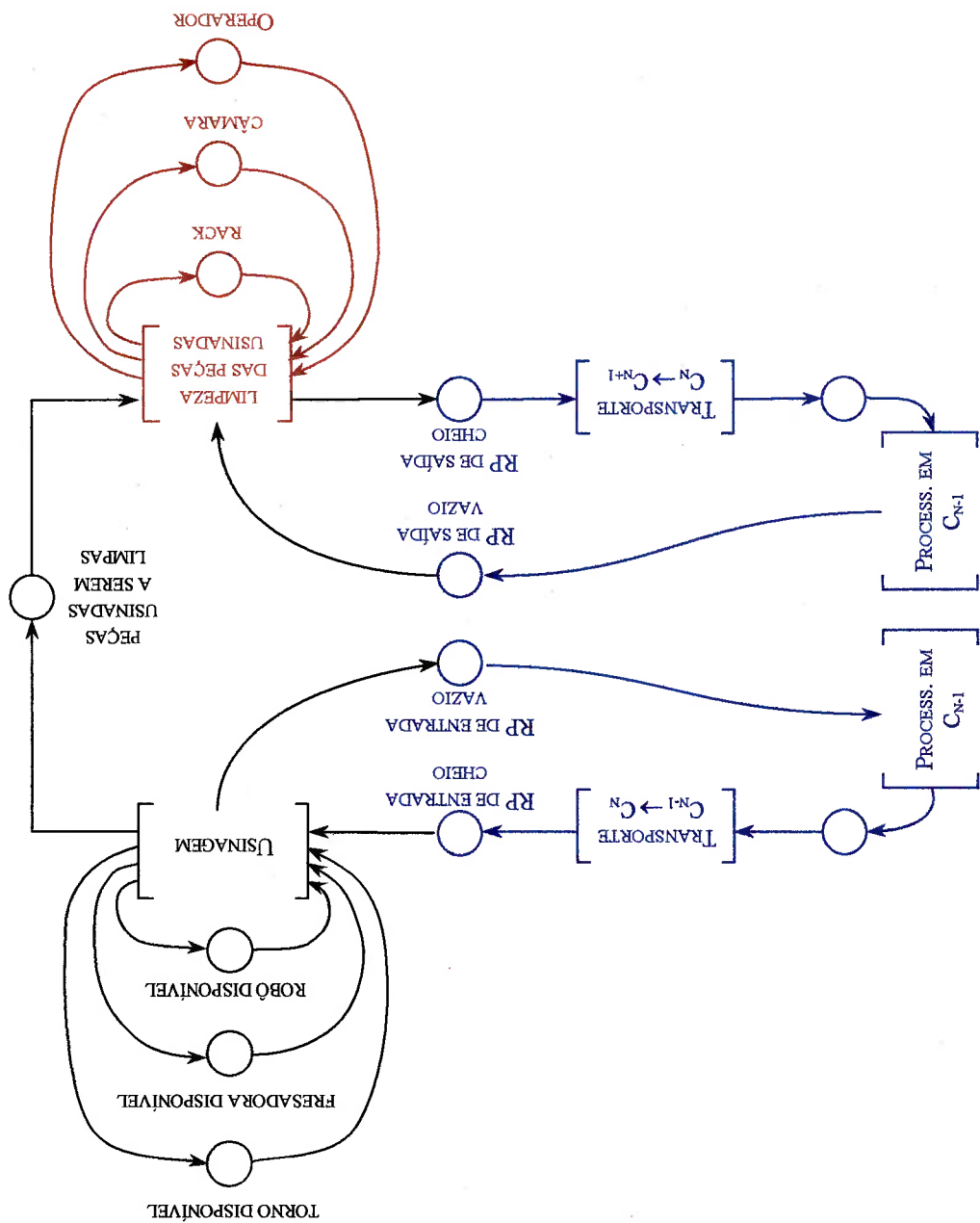


Figura 3.5 Atividades na célula  $C_n$  em PFS

### 3.2 Modelagem da Célula para Análise

Dados os fluxos de RPs entre  $C_n$ ,  $C_{n-1}$  e  $C_{n+1}$ , podem ser determinados os fluxos de peças internamente às células. A Figura 3.5 ilustra um PFS que descreve as ATIVIDADES realizadas na célula  $C_n$ : USINAGEM e LIMPEZA, e os equipamentos (recursos) envolvidos na realização de cada uma delas. Para a operação de usinagem, os equipamentos (recursos) envolvidos são o torno, a fresadora e o robô. Os dispositivos (recursos)

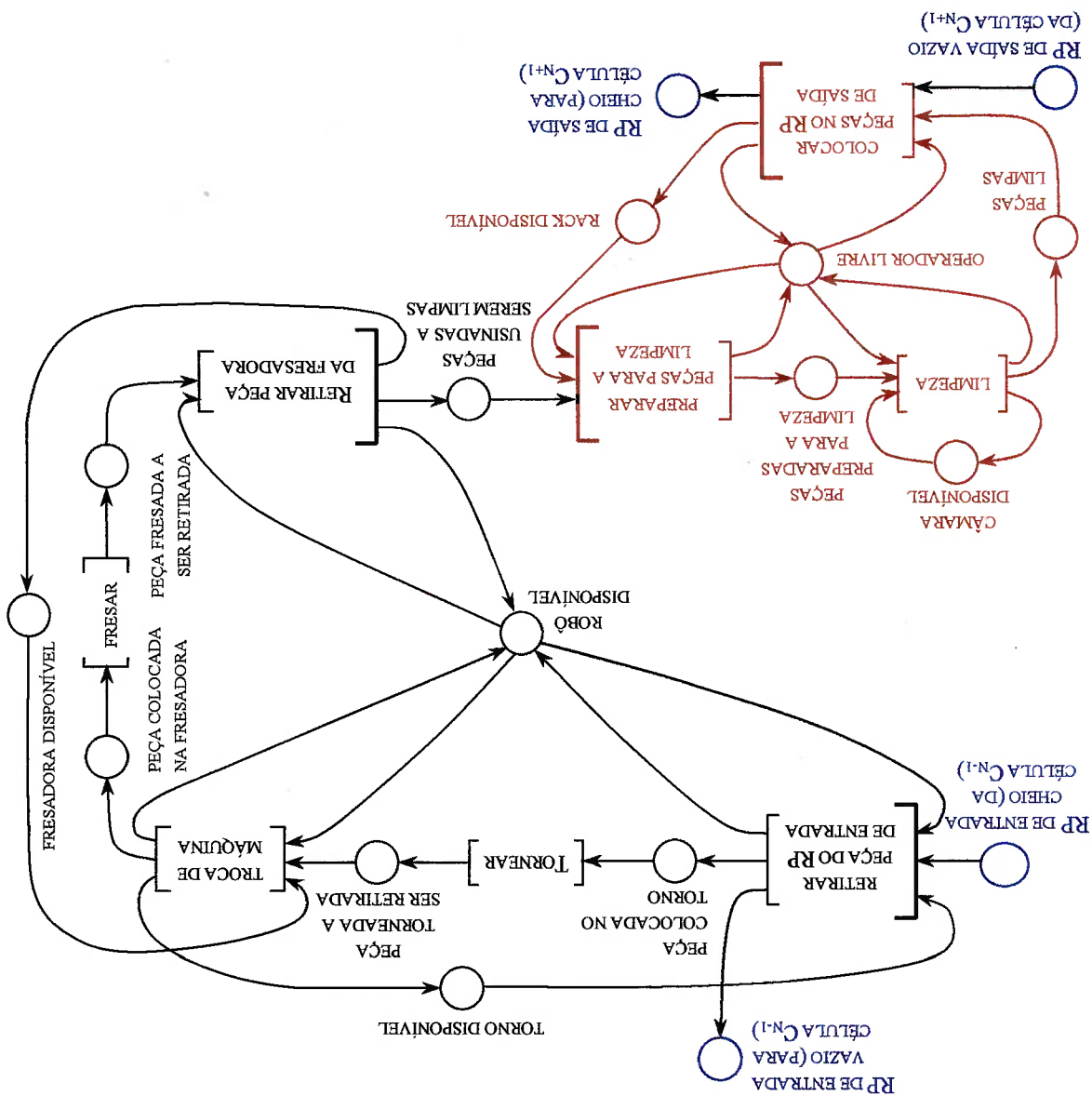


Figura 3.6 Detalhamento das atividades “USINAGEM” e “LIMPEZA” em PFS

envolvidos para realizar a limpeza das peças usinadas são a câmara de limpeza e o rack para as peças. A operação de limpeza, em que o manuseio das peças e do rack é efetuado pelo operador, foi representada em vermelho para distingui-la das operações automatizadas.

A Figura 3.6 ilustra um detalhamento, ainda em PFS, dessas atividades, detalhando a utilização dos recursos. Ficam explícitas, então, as relações de concorrência pelo robô, na usinagem, e pelo operador, na limpeza.

As operações envolvidas no processamento das peças são agora detalhadas na Figura 3.7, através do grafo MFG, em que as relações dinâmicas entre as ATIVIDADES são apresentadas. Os boxes que representam as CONDIÇÕES de RPs de entrada e de saída de  $C_N$  que estão disponíveis para a célula têm capacidade  $N=3$ , refletindo a capacidade das estantes de RPs de entrada e de saída de  $C_N$ . O abastecimento do processo de usinagem a partir do RP de entrada de  $C_N$  é representado por um box dispersor, indicando que as peças em bruto chegam todas ao mesmo tempo, dentro do RP, mas são processadas uma a uma pelo sistema. Assim, as peças também são usinadas uma a uma; entretanto, a operação de limpeza é realizada simultaneamente para todas elas. As 20 peças usinadas devem ser colocadas no rack para que a operação de limpeza possa ser efetuada; isto é representado por um box agrupador. Para a análise da operação e a avaliação do desempenho do sistema, as operações de processo são representadas por boxes temporizados, cujos tempos associados correspondem às suas durações típicas.

Através do modelo da Figura 3.7, pode-se realizar a análise da célula de fabricação através de simulação da evolução dinâmica do grafo MFG. Com isso, pode-se verificar se o desempenho da célula de fabricação é satisfatório ou se são necessárias alterações no sistema. A simulação de alterações no sistema produtivo, por sua vez, pode ser realizada com a utilização de um modelo parametrizado, representado na Figura 3.8, e cujos parâmetros são identificados na Tabela 3.1.



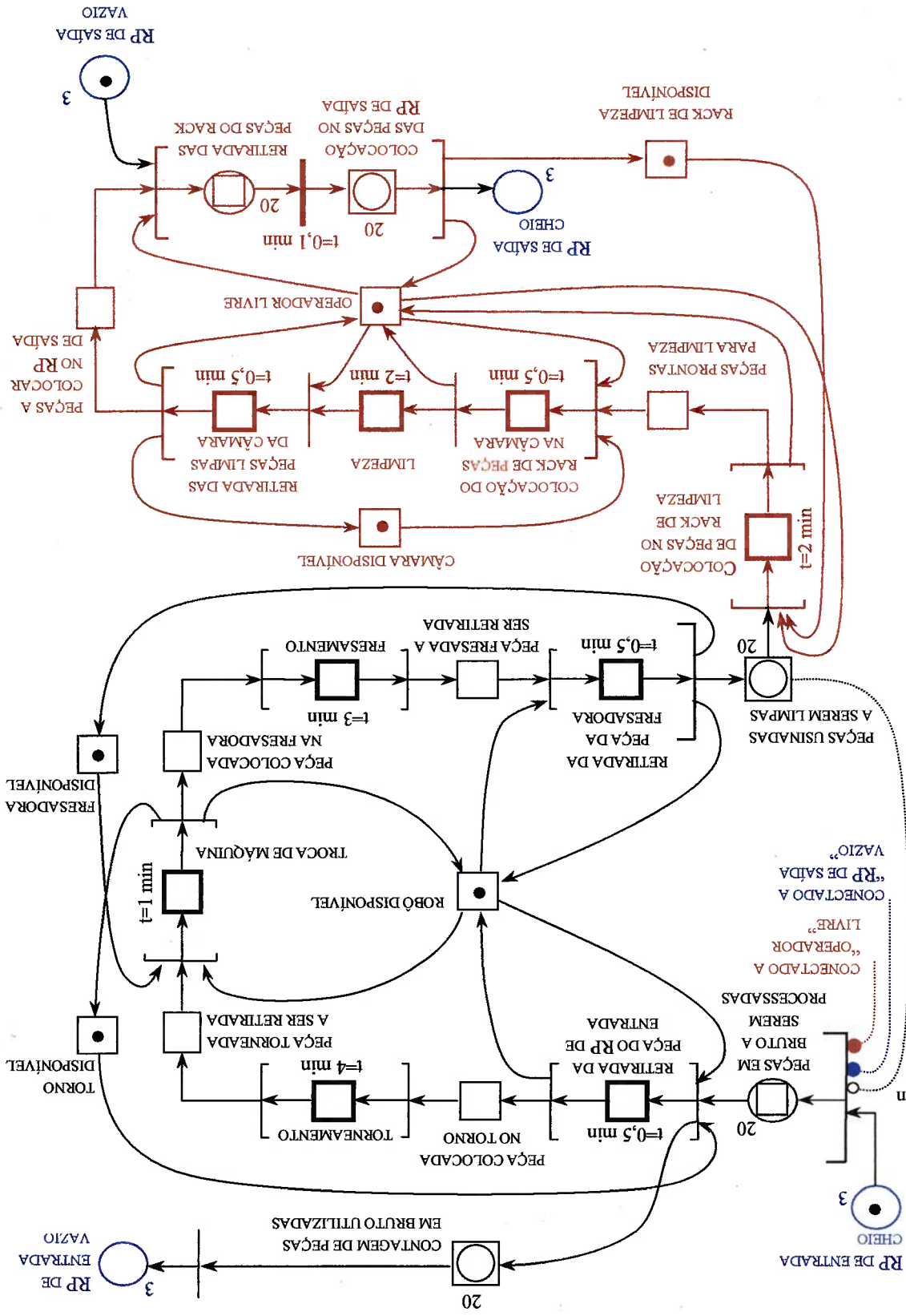


Figura 3.7 Modelo funcional para análise da célula em MFG

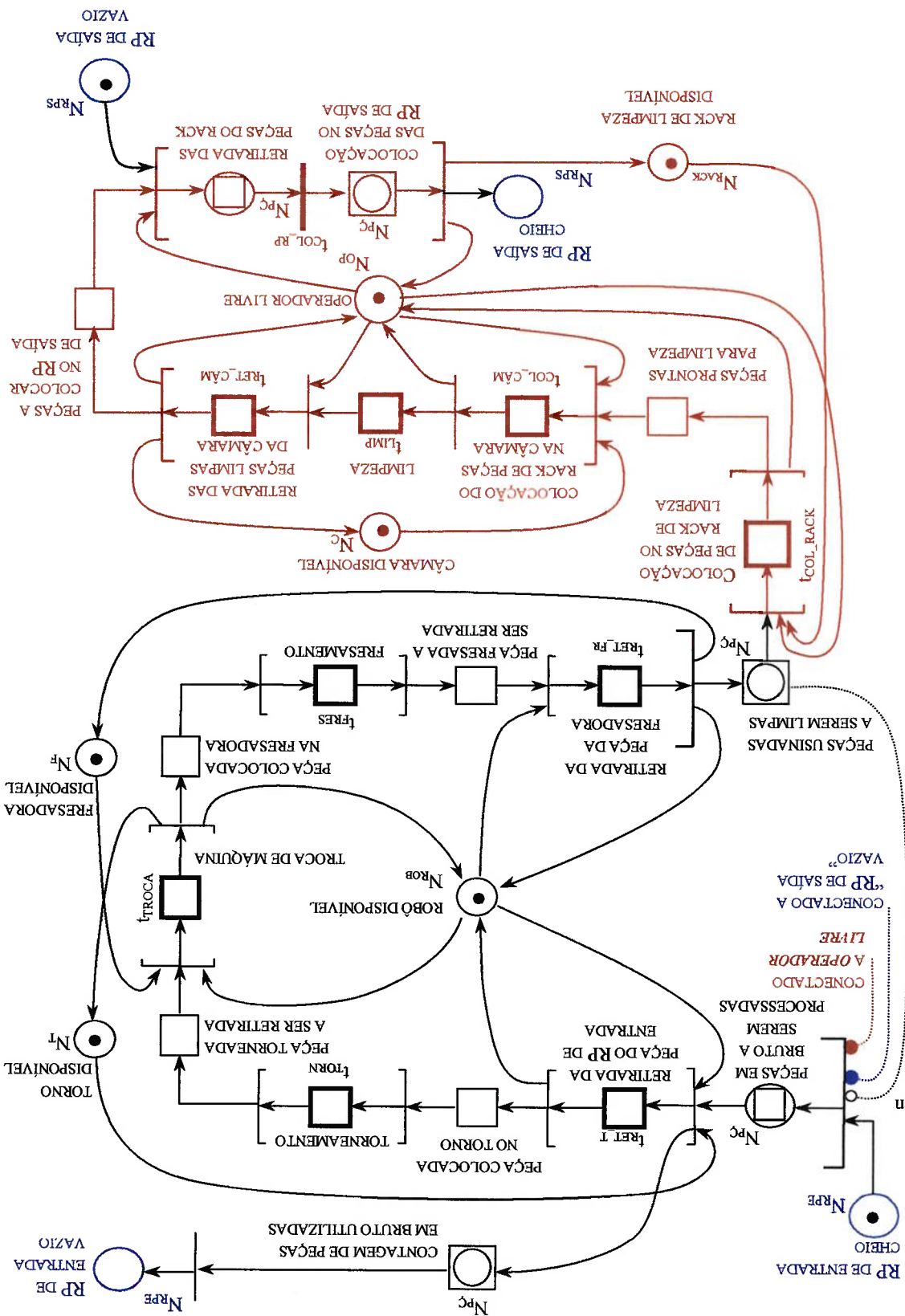


Figura 3.8 Modelo em MFG parametrizado para análise da célula

Tabela 3.1 Parâmetros do grafo MFG da Figura 3.8

Nf	Número de fresadoras na célula
Nop	Número de operadores na célula
Npc	Número de peças no lote
Nrack	Número de racks para limpeza
Nrob	Número de robôs na célula
Nrpe	Número de RPs de entrada
Nrps	Número de RPs de saída
Nt	Número de tornos da célula
tcól_câm	Tempo para colocação do rack de limpeza na câmara
tcól_rack	Tempo para colocação do lote de peças no rack para limpeza
tcól_rp	Tempo para retirar uma peça do rack de limpeza e colocação no RP de saída
tfres	Tempo para fresamento da peça
tlimp	Tempo para limpeza das peças usadas
trét_câm	Tempo para retirada do rack de limpeza da câmara
trét_fr	Tempo para retirada da peça da fresadora
trét_1	Tempo para retirada da peça em bruto do RP de entrada
torn	Tempo para torneamento da peça em bruto
troca	Tempo para troca de máquinas

Tabela 3.2 Exemplos de análises que podem ser realizadas com a alteração dos parâmetros do modelo generalizado (Figura 3.8)

PARÂMETRO DO GRAFO	ANÁLISE
Nop	Alteração do tamanho da equipe de operadores encarregada da célula de fabricação.
Npc	Alteração do tamanho de lote.
Nrps; Nrpe	Varição do número de RPs em circulação no sistema (= aumento do volume de produção sem alteração do tamanho do lote).
Nt; Nfr; Nrob; Nrack	Alteração do número de dispositivos/equipamentos.
tcól_câm; tcól_rack; tcól_rp; tfres; tlimp; trét_câm; trét_fr; trét_1; torn; troca	Alteração dos parâmetros operacionais dos recursos (equipamentos/ operadores/ dispositivos) existentes e/ou substituição do equipamento.
Marcação inicial do grafo	Número de equipamentos/dispositivos/recursos disponíveis para o processo.

Com um estudo de sensibilidade dos parâmetros do modelo parametrizado, pode-se avaliar o desempenho do sistema quando o mesmo processo de fabricação é realizado com a utilização de outros recursos ou utilizando-se os mesmos recursos, porém em configurações diferentes. Alguns exemplos de análises que podem ser realizadas com base na alteração de parâmetros do modelo parametrizado são fornecidos pela Tabela 3.2. O estudo do comportamento do sistema quando se efetua esses tipos de alterações é de grande importância no planejamento dos sistemas de produção, auxiliando na avaliação do impacto do número e da qualificação dos operadores e na determinação da necessidade de mais equipamentos, das especificações desses equipamentos e das possibilidades de mudança do tamanho do lote, dentre outras alterações que podem ser realizadas em uma planta.

Os modelos representados em MFG apresentam a vantagem adicional de poderem ser submetidos a estudos analíticos, por exemplo para evitar DEADLOCKS estruturais e minimizar o tamanho do modelo. As abordagens analíticas são objeto de vários estudos; dentre eles destacam-se aqueles desenvolvidos por MATSUSAKI (1998), MONNERAT (1998) e SONG (1997), que foram desenvolvidos especificamente para classes de redes de Petri baseadas no PFS/MFG.

### 3.3 Modelo para Controle da Célula

Para efetuar o controle de uma célula antropocêntrica de produção, o modelo de análise deve ser devidamente convertido (interpretado) para representar as condições de controle, em função da interação com os equipamentos da planta e da autonomia do operador. No desenvolvimento do modelo de controle devem ser observados os aspectos de qualificação e autonomia do operador, controle das operações da planta e controle e monitoração de atrasos e falhas operacionais, conforme será discutido nesta seção.

### 3.3.1 Qualificação e Autonomia do Operador

Em sistemas antropocêntricos de produção o operador tem autonomia em função da sua qualificação, não sendo mais considerado apenas um mero recurso de produção de fácil reposição. Esta condição deve se refletir também no modelo de controle, em que as tarefas alocadas ao operador não são diretamente supervisionadas passo a passo pelo controlador da célula.

Dessa forma, para o caso de um operador devidamente qualificado, a quem se pode atribuir tarefas que demandam autonomia operacional, o modelo de controle considerado é ilustrado na Figura 3.9, em que (1) o operador não é mais um recurso a ser controlado e, assim, sua descrição explícita é omitida, sendo considerado como um elemento autônomo externo ao modelo e (2) as diferentes operações realizadas pelo operador são reduzidas apenas a uma operação genérica que envolve os mesmos recursos para ser realizada.

Entretanto, para que a redução das operações não-automatizadas seja realizada de modo coerente, é necessário que sejam consideradas separadamente desde as etapas iniciais de elaboração do modelo do sistema. No caso deste exemplo, os sub-grafos representados em vermelho nas Figuras 3.5 a 3.8 representam tais operações.

No caso de operadores a quem não se pode delegar autonomia (por exemplo, no caso de operadores em treinamento), é necessário o controle mais direto das tarefas. Nesse caso, o modelo funcional ilustrado na Figura 3.10 deve ser considerado para o controle. Quando o operador atingir um nível de qualificação suficiente, pode-se migrar para o modelo de controle da Figura 3.9.

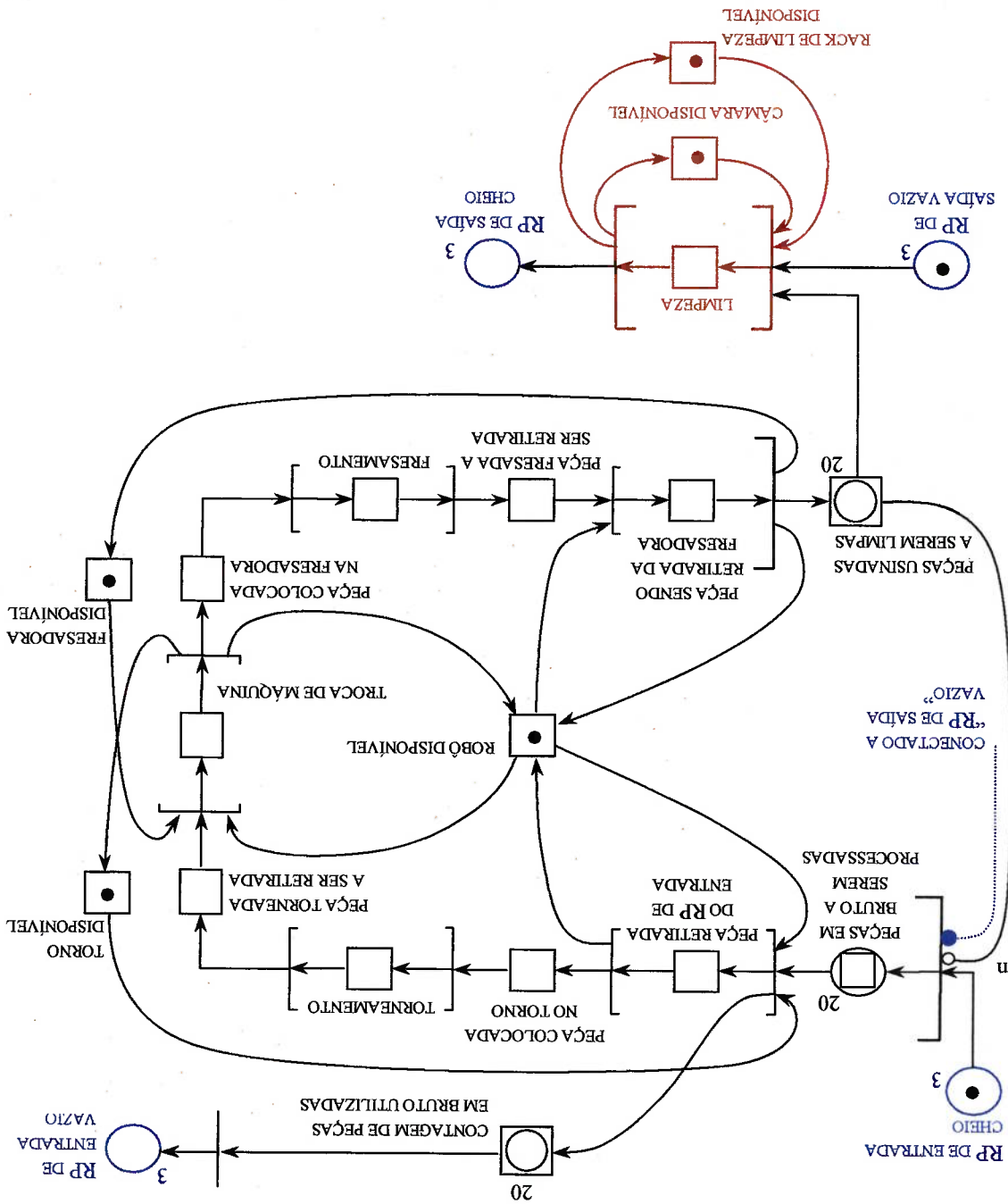


Figura 3.9 Modelo utilizado para o controle da célula antropocêntrica

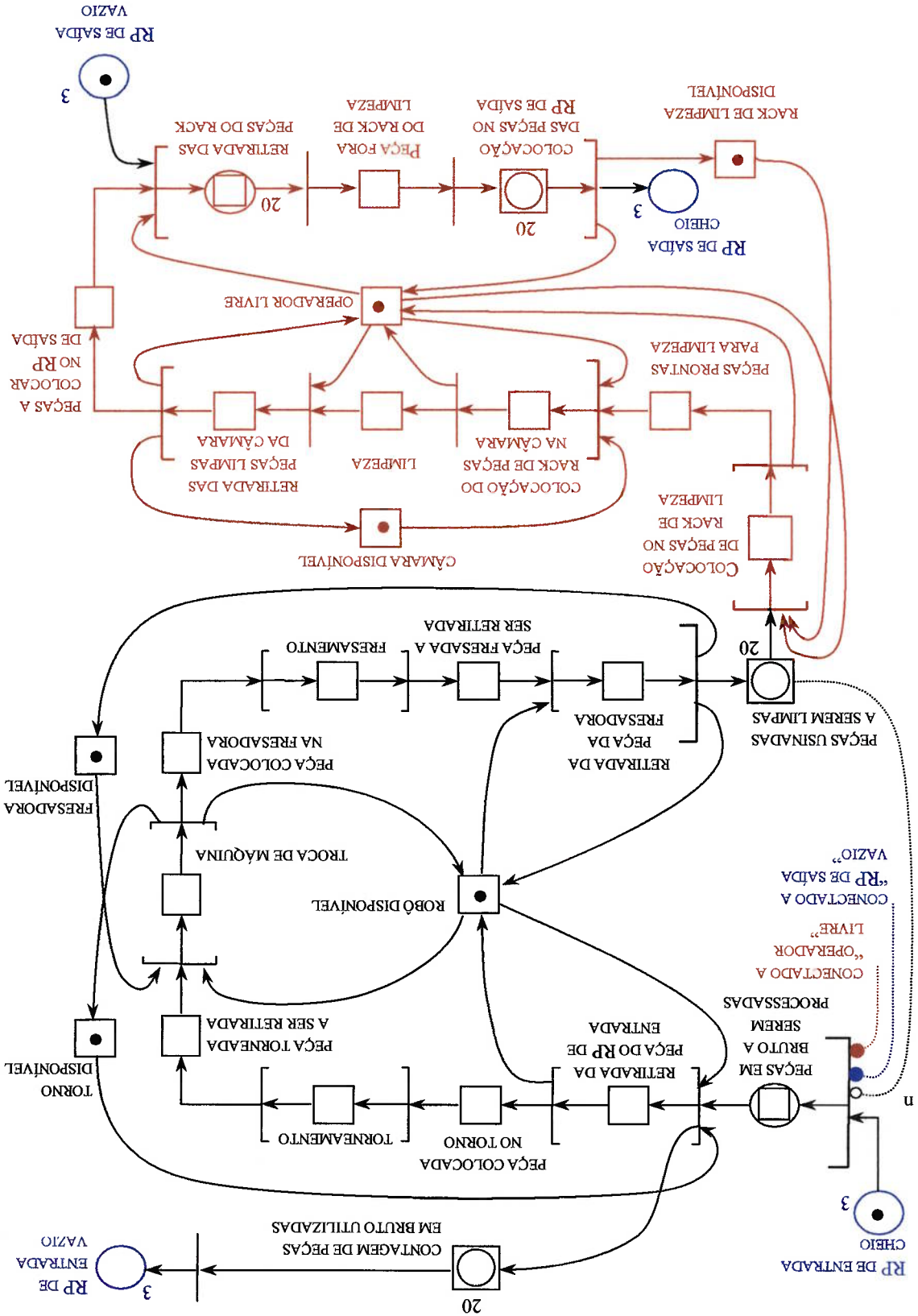


Figura 3.10 Modelo de controle para o caso de operador sem autonomia

Situações deste tipo ilustram a possibilidade de utilização de um controlador programável também como recurso de apoio ao treinamento de operadores. No caso da utilização de um controlador baseado em PFS/MFG, a utilização para treinamento é efetiva (1) pela capacidade de representação em alto nível das tarefas a serem realizadas e (2) pela consequente facilidade de atribuir graus de autonomia crescentes ao operador à medida que seu nível de qualificação aumenta.

A questão da atribuição de tarefas aos operadores em um ambiente de CIM foi abordada detalhadamente por BARFIELD et. al. (1986). Neste trabalho também foram abordados tópicos de projeto de sistemas flexíveis de produção com base na atribuição dessas tarefas. A metodologia PFS/MFG, conforme exposto neste capítulo, presta-se muito bem a esse propósito, possibilitando a concepção de modelos de controle que sejam adequados aos operadores da célula.

### 3.3.2 Controle das Operações da Planta

Conforme já mencionado, no modelo de análise as operações são representadas por boxes temporizados, cujo tempo associado corresponde à duração típica da operação. Para o modelo de controle, entretanto, esses boxes temporizados são substituídos por boxes simples com um arco de saída de sinal e uma porta externa, ambos conectados ao equipamento da célula através de interfaces de comunicação entre o controlador e os equipamentos. A representação da comunicação entre o modelo de controle da célula e as instalações (equipamentos, dispositivos etc.) é ilustrada na Figura 3.11.



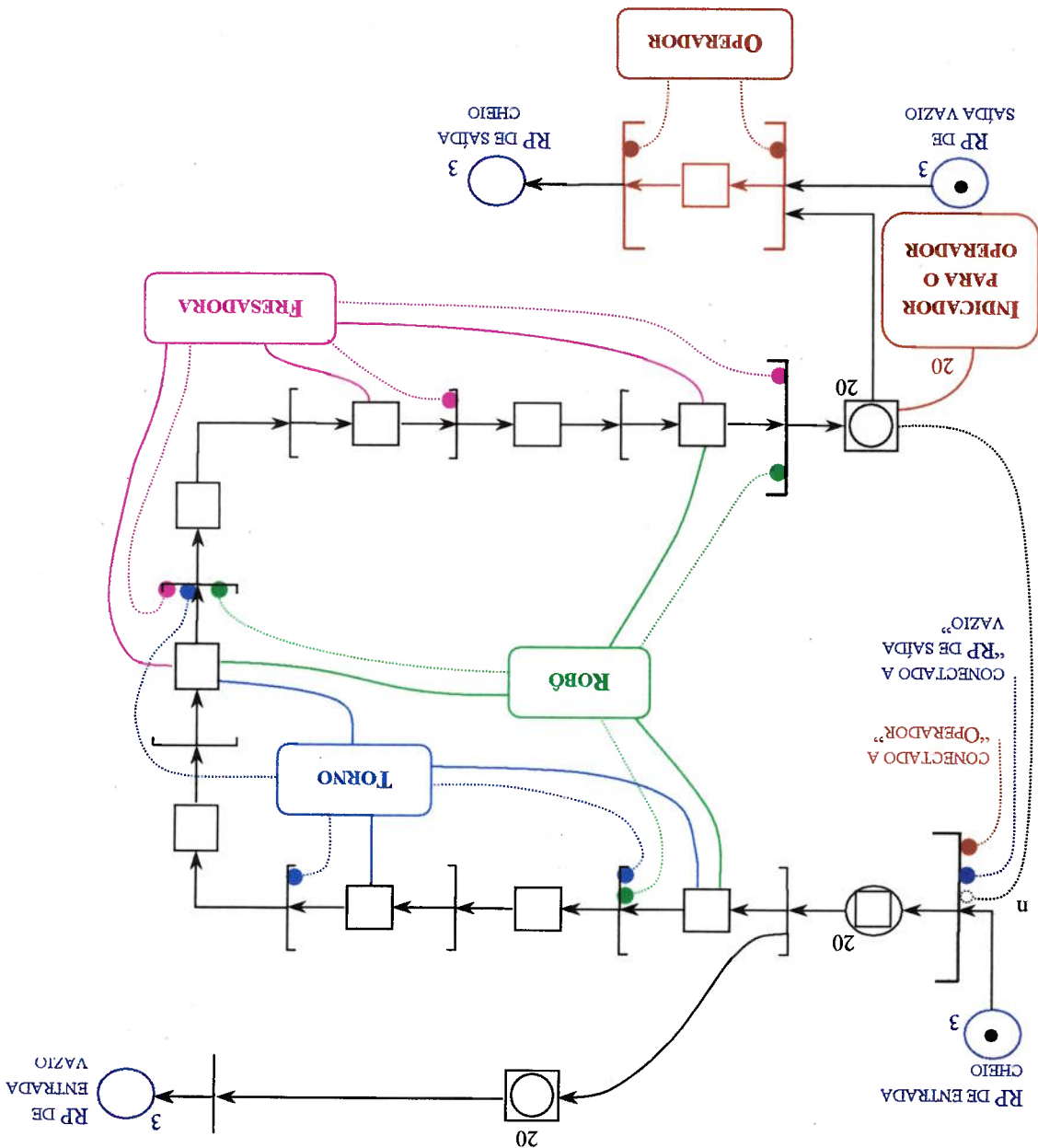


Figura 3.11 Troca de sinais de controle entre o controlador e os equipamentos da célula em MFG, para o modelo de controle da Figura 3.9

Dessa forma, quando o box contiver uma marca, um sinal de atuação será enviado para o equipamento que realiza a operação associada ao box. Quando a operação estiver terminada, o equipamento sinaliza essa condição ao controlador através do respectivo sinal de porta externa, que representa um sinal de detecção. Esse sinal será enviado ao grafo de controle, também através da interface de comunicação.

No caso de operações alocadas para o operador, o controlador envia o sinal de monitoração (emitido a partir do box imediatamente anterior à transição de início da operação, conforme indicado na Figura 3.11) para um dispositivo indicador específico, como um painel luminoso e/ou algum dispositivo sonoro instalado na célula. Os sinais de comando, que consistem nas indicações de início e término das operações, podem ser enviados ao controlador da célula antropocêntrica diretamente pelo operador.

### 3.3.3 Controle e Monitoração de Atrasos e Falhas Operacionais

Em um ambiente de produção enxuta, os operadores são responsáveis pela realização de operações simples de manutenção dos equipamentos, especialmente durante a operação normal da célula. Dessa forma, o modelo de controle pode prever mecanismos de controle de atrasos e falhas operacionais, conforme indicado na Figura 3.12.

O controlador avalia se a situação é de atraso ou de falha de acordo com os tempos de atraso e falhas, determinados previamente e que são atribuídos às transições temporizadas indicadas. Em situações como essas, é necessária a intervenção do operador. O controlador sinaliza essas condições através de um dispositivo sinalizador de monitoração, normalmente instalado na própria máquina. Nos sistemas JIT já em operação descritos por SAKAKIBARA (1991), a condição de atraso é indicada por uma luz amarela e a condição de falha é indicada por uma luz vermelha.

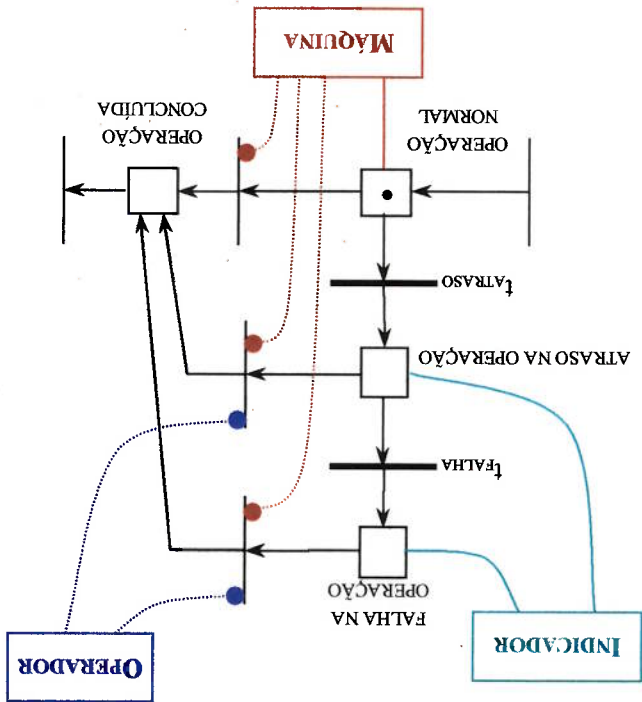


Figura 3.12 Controle de atrasos e falhas operacionais em sistemas de produção enxuta

O modelo final de controle da célula é representado na Figura 3.13, com aplicação do controle de atrasos e falhas operacionais.

### 3.3.4 Testes do Modelo de Controle

A realização dos testes do modelo de controle pode ser realizada em duas etapas:

(1) "off-line", com a utilização de simuladores dos equipamentos da célula, e

(2) "on-line", com o controle efetivo da célula no processamento de lotes de teste.

Dessa forma, o tempo de parada da fábrica na adaptação do sistema produtivo a novos requisitos de produção é minimizado e a quantidade de materiais necessários para realização dos testes é reduzida, contribuindo para redução dos custos e agilização das alterações/ajustes operacionais.

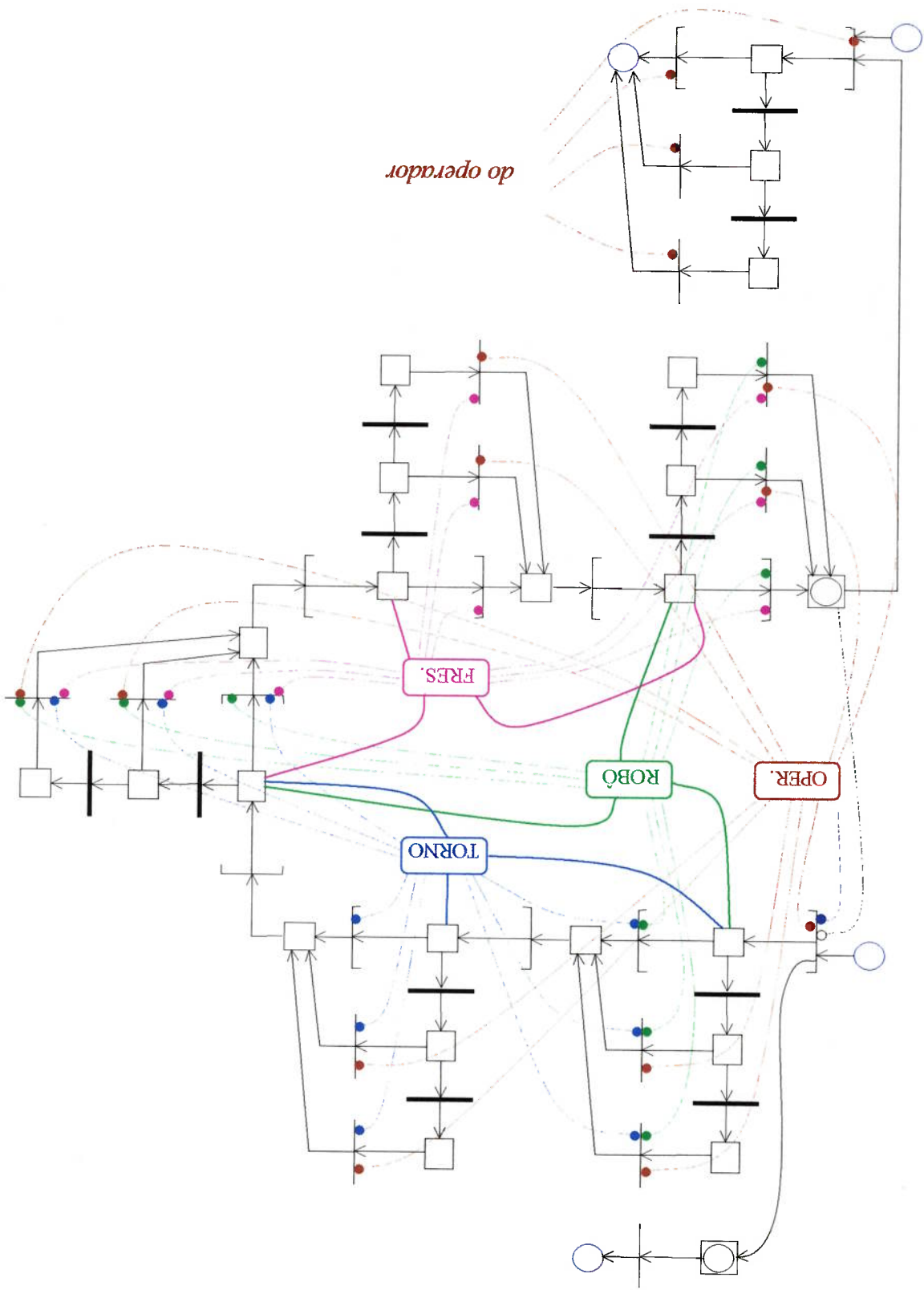


Figura 3.13 Controle da célula com controle de atrasos e falhas operacionais

### **3.4 Considerações Gerais do Capítulo**

A aplicação da metodologia PFS/MFG a células de fabricação em um ambiente de produção enxuta permite a representação explícita das interações do operador com o processo produtivo, comprovando sua adequação ao tratamento dos sistemas antropocêntricos de produção.

O modelo em PFS/MFG pode ser utilizado para a avaliação de parâmetros operacionais do sistema de produção, sendo uma ferramenta de planejamento poderosa em função do poder de modelagem da técnica considerada. Esse mesmo modelo, devidamente interpretado conforme descrito na seção 3.3, pode ser utilizado diretamente para o controle desta, eliminando os riscos de perda de informações na conversão do modelo em alto nível para uma especificação de controle em baixo nível. Com isso, economiza-se também o tempo de conversão, favorecendo a adaptação rápida do sistema produtivo às alterações nos requisitos de produção e permitindo que o tempo entre a concepção e a operação efetiva de novos sistemas de produção seja menor.

Ainda considerando a seção 3.3, a possibilidade de utilização de modelos de controle com diferentes níveis de autonomia atribuídos ao operador das instalações de fabricação faz com que o controlador da célula antropocêntrica, além de cumprir sua função no sistema integrado de manufatura, se transforme em um recurso eficaz para o treinamento dos operadores, o que contribui significativamente para sua qualificação.

Além dos benefícios operacionais, o PFS/MFG apresenta a vantagem de ser uma metodologia de desenvolvimento completa para os projetistas de sistemas produtivos, no sentido que os procedimentos convencionais de projeto envolvem a utilização de vários tipos de ferramentas, como as técnicas de pesquisa operacional ou simulação numérica, a nível de planejamento, e as listas de instruções ou diagrama de relés, a nível

de controle [MIYAGI (1996)]. O PFS/MFG tem capacidade para representar o sistema produtivo do nível conceitual ao nível funcional, tornando o projeto do sistema de produção mais "natural" para os projetistas, sem o risco de perda de informações nas conversões de representações durante o processo de projeto. A capacidade de explicitar as relações produtivas é, assim, efetiva para a implementação do conceito de sistemas de produção enxuta.

**4.1 Características do Sistema de Produção a ser Controlado**

A estrutura de um sistema de controle para um sistema de produção genérico está representada pela parte superior da Figura 4.1, em preto. No caso de um sistema automatizado de produção, os equipamentos possuem, além da própria estrutura mecânica, um sistema de controle programável, responsável pela execução de um programa que controla as operações de fabricação. Neste contexto em geral, o painel de controle de uma máquina-ferramenta programável é responsável pela interface (dispositivos de comando e monitoração) com o operador que define os parâmetros para execução de programas de usinagem, compostos de ações como desbastar o material a

PFS/MFG.

Inicialmente, apresenta-se a caracterização do sistema de produção considerado, para o qual o controlador é implementado. Em seguida, o projeto e a implementação desse controlador são descritos e os resultados obtidos são apresentados, assim como as conclusões e as discussões sobre a utilização de um controlador baseado em

KAGOHARA et al. (1994a) (1994b) e MOTOHASHI et al. (1994a) (1994b).

No capítulo 3 foi introduzida a aplicação da metodologia PFS/MFG para a concepção de modelos para análise e avaliação das estratégias de controle de um sistema de produção considerando o conceito de sistemas de produção enxuta. Este capítulo discute as características e a implementação de um controlador baseado em PFS/MFG para execução do controle de um sistema (antropocêntrico) de produção enxuta, através de uma especificação das estratégias de controle na forma de um grafo PFS/MFG, obtido conforme descrito no capítulo 3. Esse estudo foi parcialmente documentado em

---

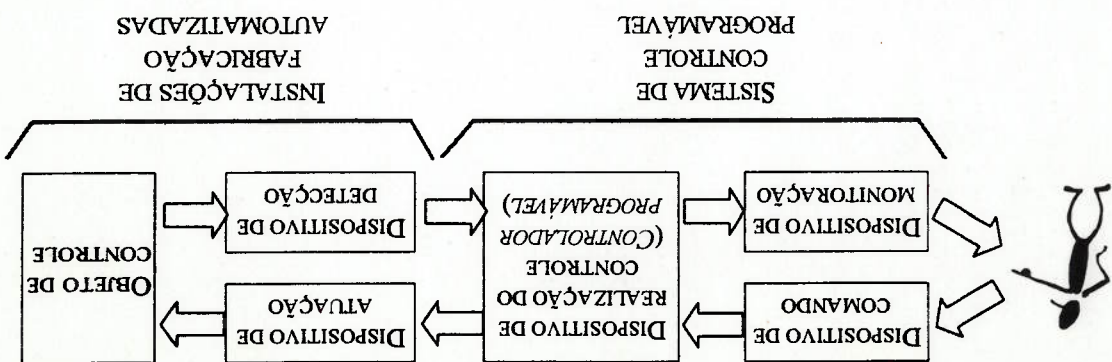
## 4 Controlador Baseado em PFS/MFG

No capítulo anterior, procurou-se evidenciar o poder de modelagem do PFS/MFG, que define intrinsecamente as estratégias de controle que asseguram o funcionamento e desempenho desejados do sistema de produção enxuta. Assim, no sentido de explorar as potencialidades do modelo PFS/MFG, apresenta-se neste capítulo a implementação de um controlador baseado em PFS/MFG, isto é, um controlador onde a lógica de controle do DISPOSITIVO DE REALIZAÇÃO DO CONTROLE é especificada através de um grafo PFS/MFG ao invés de ser expressa por um diagrama de relés, lista de instruções ou

#### 4.1.

instalações de fabricação, conforme indicado pela parte inferior, em cinza, da Figura automatizado é composto por um sistema de controle programável conectado às monitoração para a interface com o operador. Com isso, um sistema de produção controle (controlador programável), mas também os dispositivos de comando e de programável, verifica-se que envolvem não apenas o dispositivo para a realização do detecção (sensores). Desta forma, considerando-se a parte do sistema de controle (processo produtivo), mas também os dispositivos de atuação (acionamentos) e de instalações de fabricação automatizadas envolvem não apenas o objeto de controle uma certa profundidade ou usar rosca, dentre outras. Deve-se considerar que as

Figura 4.1 Controle de sistemas de fabricação automatizados



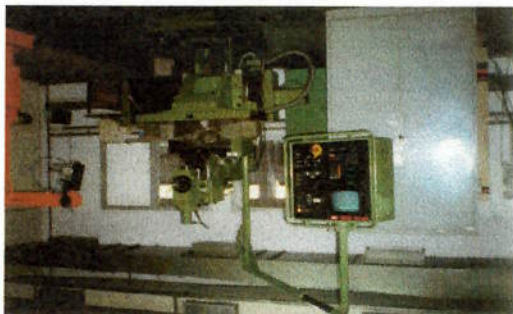


outra linguagem convencional de programação de controladores. Isto possibilita que o modelo de controle obtido através da aplicação sistemática da metodologia PFS/MFG, descrita no Capítulo 3, possa ser utilizado diretamente como um programa de controle.

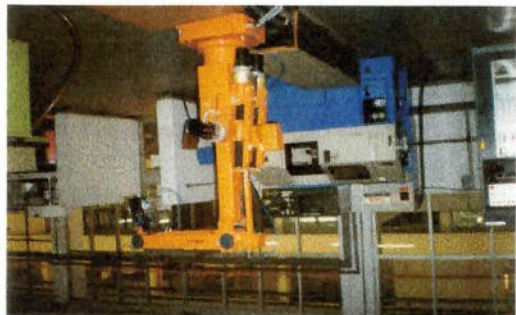
O sistema de produção considerado para a implementação do controlador é a Célula Integrada de Manufatura (Figura 4.2), concebida, desenvolvida e testada dentro do Projeto de Pesquisa Temática FAPESP nº 90/4225-3, "Automação Industrial" que recebeu auxílio parcial também do CNPq. O escopo deste projeto envolve diversas outras atividades relacionadas à automação da manufatura. Entretanto, este trabalho limita-se à descrição do problema de implementação do Controlador da Célula. O Anexo I contém mais informações sobre a Célula e as atividades envolvidas no projeto.

Os equipamentos de fabricação da Célula Integrada de Manufatura pertencem a duas classes genéricas, sob o ponto de vista de integração a sistemas de controle por computador: equipamentos com controle integrado DIRETO (através do painel de controle DNC - Direct Numeric Control - da própria máquina) ou com controle integrado INDIRETO, com a necessidade de outros elementos para efetuar o controle das operações de fabricação através do controle centralizado.

Os equipamentos do primeiro tipo são os ideais para utilização em um ambiente idealizado de CIM (Manufatura Integrada por Computador). Os do segundo, tipo, entretanto, são pouco flexíveis e precisam ser adaptados para serem devidamente reutilizados em uma modernização de instalações produtivas. Em uma abordagem tecnocêntrica de produção, a solução para a integração dos equipamentos do segundo tipo seria a adaptação da máquina ao controle integrado direto, o que pode ter um custo elevado e não ser de implementação simples.



TORNO DNC MAZAK QT-8



ROBÔ ABB IRB-6



LOCALIZAÇÃO DA SALA DE CONTROLE



TORNO CNC TRAUB TND 360



WORKSTATION RS6000 (IBM)

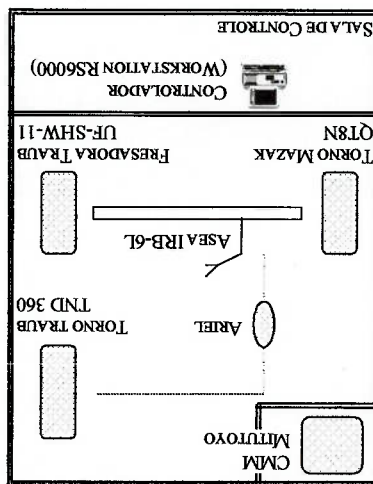


Figura 4.2 Célula Integrada de Manufatura –

equipamentos de fabricação e controle e layout geral das instalações

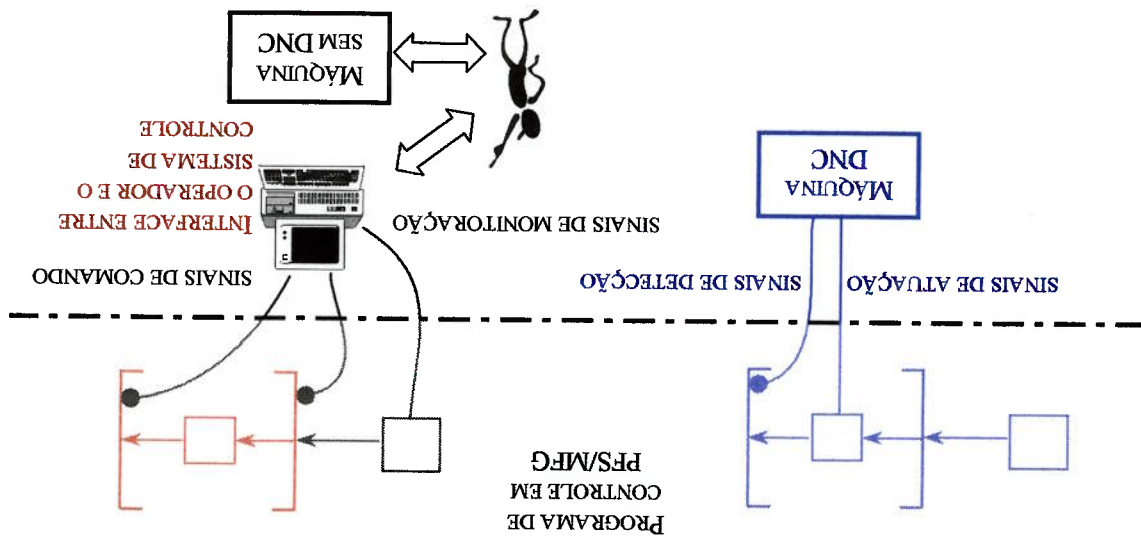


Figura 4.3 Troca de sinais entre o programa de controle e os equipamentos da planta

#### CASO 1: CONTROLE INTEGRADO DIRETO

#### CASO 2: CONTROLE INTEGRADO INDIRETO

Entretanto, segundo alguns estudos mais recentes, esta abordagem não é viável para a grande maioria das empresas, onde a abordagem antropocêntrica é mais efetiva [CAMARINHA-MATOS; AFSARMANESH (1995) (1996)]. A célula é, desta forma, considerada um sistema antropocêntrico de produção que deve operar sob o conceito de produção enxuta, onde o elemento humano tem um papel imprescindível na operação da planta, estando capacitado a efetuar com autonomia e eficiência a integração entre o equipamento de fabricação e o sistema integrado de informações.

A Figura 4.3 ilustra um caso específico de como estas formas de integração se refletem na troca de sinais entre os equipamentos da planta e o programa de controle em PFS/MFG. Aqui, o elemento de interface entre o operador e o programa de controle do sistema produtivo é um computador executando um software de coleta de dados (corresponde ao dispositivo de comando e ao dispositivo de monitoração). Essa interface pode ser realizada também através de hardware dedicado (módulo de interface homem-máquina, coletores de dados, dentre outros).

Considerando a natureza assíncrona dos diferentes sinais de controle envolvidos (que sugere dispositivo de realização de controle com multiprocessamento) e a natureza da pesquisa (que enfoca a avaliação das particularidades da técnica e não do desempenho temporal da implementação), a plataforma computacional para implementação do controlador é o sistema operacional AIX 3.0, uma versão do sistema operacional UNIX instalada nas estações de trabalho RS6000 da IBM, do projeto da Célula Integrada de Manufatura.

#### **4.2 Projeto do Controlador**

Partindo das características do sistema de produção enxuta e do sistema de controle considerado foi especificada uma estrutura do sistema, que está genericamente esquematizada na Figura 4.4. A capacidade de processamento multitarafa do sistema operacional da estação de trabalho foi explorada para o controle da célula, dedicando ao controlador e a cada driver de comunicação (interface para a comunicação física com os dispositivos do sistema) um programa específico. A troca de dados entre eles permite a sincronização do controlador com os componentes do sistema produtivo.

A Figura 4.4 apresenta o módulo "CONTROLADOR|CÉLULA" da Figura 2.3. O módulo CONTROLADOR que é composto por três sub-módulos: O NÚCLEO DE CONTROLE, o GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES com a planta e a INTERFACE COM NÍVEIS SUPERIORES. A Figura 4.4 ilustra como ocorre a transmissão das informações do núcleo de controle para a planta (célula) e vice-versa.

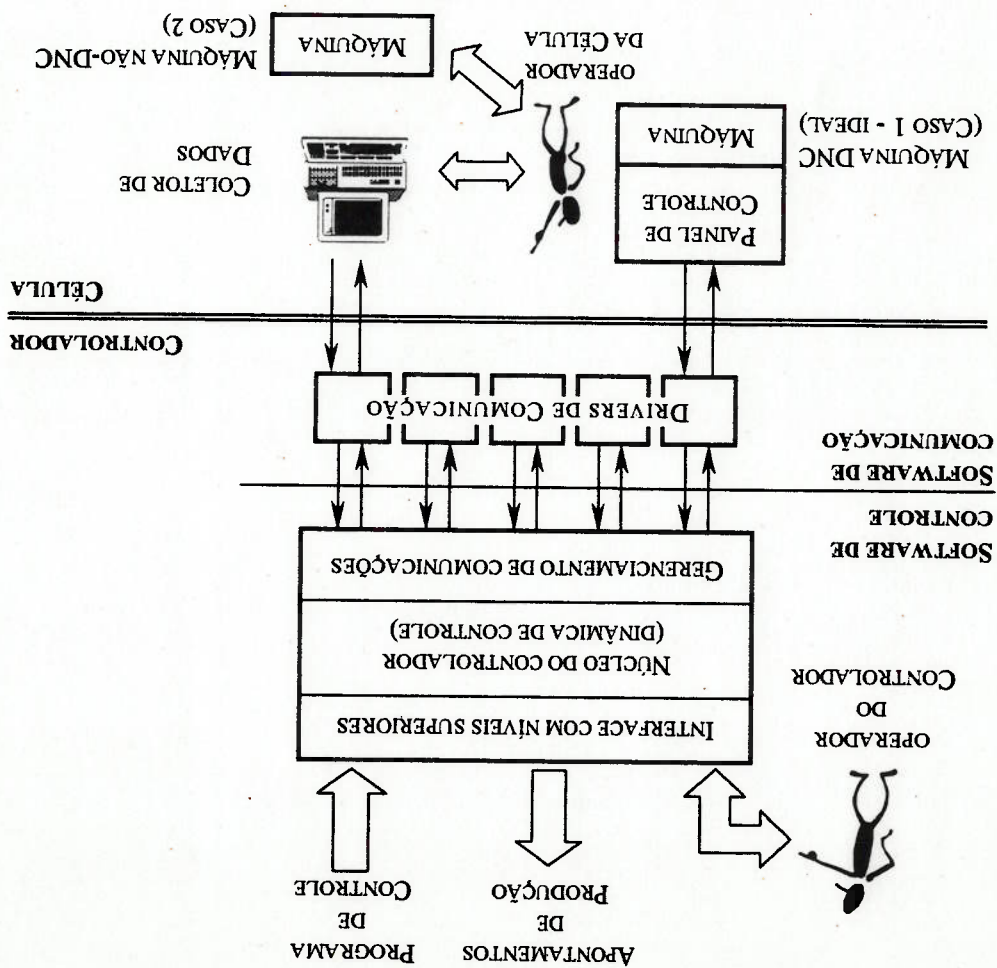


Figura 4.4 Sistema de controle da Célula Integrada de Manufatura

4.2.1 Núcleo de Controle

O NÚCLEO DE CONTROLE baseia-se nas especificações dos procedimentos de controle em PFS/MFG e avalia, a cada instante, e de acordo com as regras de execução do grafo, as transições habilitadas – aquelas cujas condições de disparo (função do estado atual do sistema e dos sinais de comando e dos detetores) estão satisfeitas – e as dispara, definindo assim novos estados e ações físicas (transmitidas através de sinais de atuação e de monitoração) no sistema de manufatura.

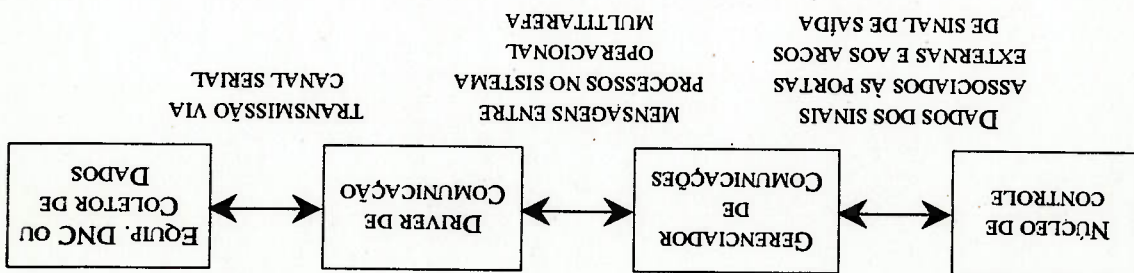


Figura 4.5 Transmissão das informações entre os elementos de controle da célula

Com isso, os programas de controle da célula, especificados através de grafos PFS/MFG, são executados, controlando o andamento das operações de fabricação na planta através da sincronização de estados e atividades (troca de sinais entre os elementos do PFS/MFG com a planta).

#### 4.2.2 Comunicação Entre o Controlador e a Célula

O GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES, como seu próprio nome indica, é a parte do controlador responsável pela comunicação entre o núcleo de controle e os drivers de comunicação, que são as interfaces entre o controlador e os equipamentos da célula. O fluxo de informações do núcleo de controle aos drivers de comunicação, e vice-versa, é realizada através de rotinas de software e o fluxo de informações dos drivers de comunicação para os equipamentos da célula, e vice-versa, é realizada por transmissão serial de sinais, com a utilização de uma placa multi-serial da IBM, especialmente desenvolvida para estações de trabalho RS6000.

Conforme indicado na Figura 4.5, o GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES recebe do NÚCLEO DE CONTROLE as informações dos sinais de saída (sinais de atuação) e as envia para o driver de comunicação adequado através de mensagens, a nível de sistema operacional. Analogamente, os drivers de comunicação enviam as informações sobre os

sinais recebidos da planta (sinais de comando e de detecção) ao GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES através de mensagens do mesmo tipo, que serão convertidas em informações que podem ser devidamente interpretadas pelo NÚCLEO DE CONTROLE para efetuar a sincronização entre o controlador e os equipamentos da célula.

As duas possibilidades de controle integrado, direto e indireto, são implementadas das seguintes formas no controlador da Célula Integrada de Manufatura:

1. Para os equipamentos com DNC: a conexão entre o driver de comunicação e a máquina é realizada diretamente através do painel de controle do equipamento. O driver implementa o protocolo de comunicação específico do equipamento. No caso da Célula Integrada de Manufatura, foram implementados o protocolo ADLP10/ARAP, para comunicação com o robô IRB-6 da ABB (antigo Asea) [ASEA], e o protocolo MAZAK, para comunicação com o torno QT8N da Mazak [MAZAK].

2. Para as máquinas-ferramenta sem DNC: o fechamento da malha de controle é efetuado por um operador que (1) lê as instruções na tela de um computador e as executa e (2) insere nesse computador a resposta de que a operação foi realizada. Para a comunicação com cada controlador de equipamento da Célula, foi utilizado o protocolo ADLP10/ARAP (o mesmo do robô IRB-6 da ABB).

A implementação do NÚCLEO DE CONTROLE e do GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES é descrita detalhadamente na próxima seção.

#### 4.2.3 Interface com Níveis Superiores

Neste trabalho, as interfaces com níveis superiores de controle são efetuadas apenas a nível de sistema operacional: o supervisor do controlador inicializa o sistema de

controle através de comandos e recebe mensagens de supervisão durante a realização do controle da célula, podendo interromper o processo quando necessário. Além disso, é gerado um relatório simples, com dados estatísticos dos "estados atingidos".

Interfaces mais complexas não foram implementadas neste trabalho. De fato, foi realizado um estudo para uma interface que executasse a geração automática de programas em PFS/MFG para o controlador a partir dos dados de projeto do produto e de planejamento e controle da produção, de acordo com o esquema da Figura 2.3 e que foi documentado em KAGOHARA et. al. (1994a) (1994b). Além disso, também podem ser gerados relatórios específicos para o software de MRP II utilizado, dentre outras possibilidades.

#### 4.2.4 Drivers de Comunicação

Os drivers de comunicação com os equipamentos da planta realizam a codificação e a decodificação dos protocolos de comunicação utilizados pelos equipamentos DNC ou pelos computadores da planta, que efetuam a interface entre o controlador e o operador da célula. Os drivers são compostos por dois programas que são executados simultaneamente para cada equipamento: um que verifica a conexão com o equipamento (a porta serial) e outro que se comunica com o GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES.



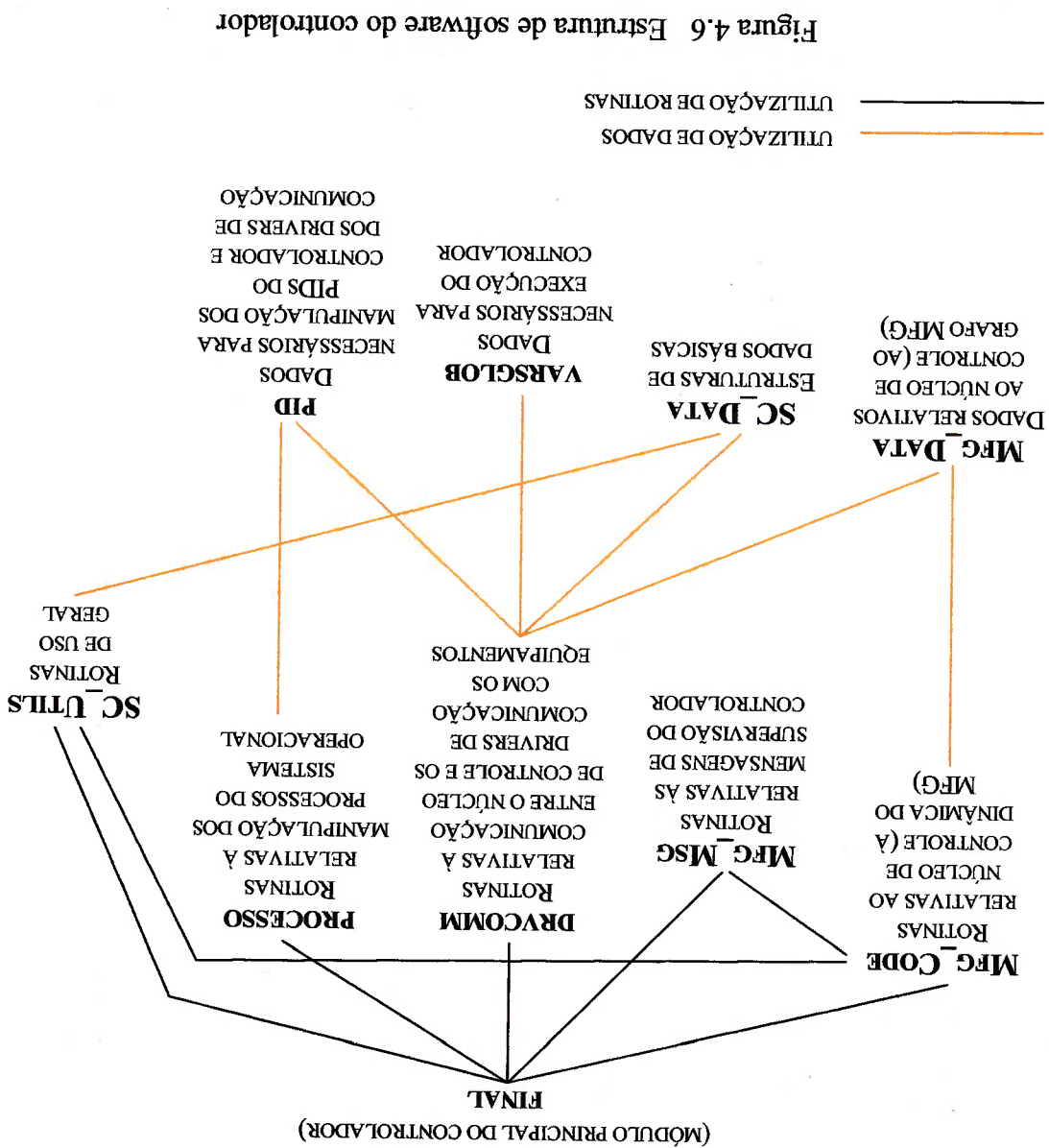


Figura 4.6 Estrutura de software do controlador

### 4.3 Implementação

O desenvolvimento do software do controlador foi realizado de forma modular, facilitando futuras expansões do sistema. A estrutura dos módulos de software do controlador é ilustrada na Figura 4.6. Nesta figura, as linhas indicam que um determinado módulo utiliza rotinas (linhas em preto) ou dados (linhas em vermelho) do outro módulo.

A manipulação de processos em uma plataforma computacional multitarifa possibilita a implementação do sistema de controle através de vários módulos sendo executados simultaneamente. Para garantir o funcionamento satisfatório dessa implementação, é necessário que a comunicação entre esses processos seja executada de modo eficiente. Nesta seção são descritos o funcionamento da comunicação entre o processo de controle e os processos de comunicação com os equipamentos da planta e a execução do controle da célula. As estruturas de dados do sistema e os módulos de rotinas acessados por FINAL são descritos detalhadamente no Anexo 2.

#### 4.3.1 Características Gerais do Controlador

O controlador consiste de vários processos sendo executados simultaneamente no computador dedicado ao controle da planta, a saber:

- ❖ Núcleo de controle e gerenciador de comunicações
- ❖ Driver de comunicação com o robô IRB-6 da ABB:
- Programa de troca de mensagens entre o controlador e o programa de comunicação serial com o robô.
- Programa de transmissão e recepção dos dados de controle e monitoração do robô através da porta serial.
- ❖ Driver de comunicação com o torno CNC da Traub:
- Programa de troca de mensagens entre o controlador e o programa de comunicação serial com o torno CNC.

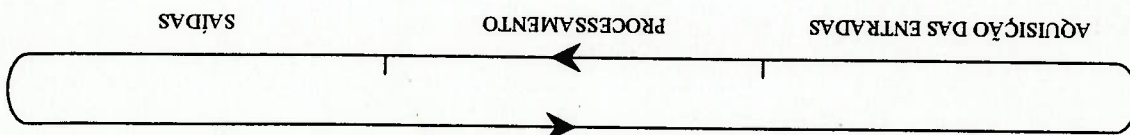


Figura 4.7 Ciclo de processamento de um controlador

- Programa de transmissão e recepção dos dados de controle e monitoração do torno CNC através da porta serial.

❖ Driver de comunicação com a fresadora CNC da Traub:

- Programa de troca de mensagens entre o controlador e o programa de comunicação serial com a fresadora CNC.

- Programa de transmissão e recepção dos dados de controle e monitoração da fresadora CNC através da porta serial.

❖ Driver de comunicação com o torno DNC da Mazak:

- Programa de troca de mensagens entre o controlador e o programa de comunicação serial com o torno DNC.

- Programa de transmissão e recepção dos dados de controle e monitoração do torno DNC através da porta serial.

#### 4.3.2 Execução do Controle

Genericamente, o processamento em um controlador programável é esquematizado pela Figura 4.7, onde se pode observar que seu ciclo inicia com a aquisição de dados (da planta e do operador), realiza o processamento das entradas e, em seguida, emite-se as saídas de sinais de atuação e monitoração para a planta/operador. O algoritmo interno do controlador (de realização do controle), executado pelo núcleo de controle, é descrito

Estabelecimento da conexão entre os elementos do controlador (núcleo de controle, gerenciador de comunicações e drivers de comunicação)
Carregamento do programa de controle (em PFS/MFG)
Inicialização das estruturas de supervisão (interface com níveis superiores)
Configuração dos drivers de comunicação
Execução do loop de controle para operação da planta
Aquisição de dados da planta (sinais de detecção e de comando)
Processamento
Envio dos sinais de atuação e monitoração
Supervisão do controlador (mensagens para o supervisor do controlador)
Emissão de relatório

Figura 4.8 Diagrama de N-S do núcleo de controle

pelo diagrama N-S da Figura 4.8. Após a inicialização do sistema de controle, o loop de processamento é executado e o controlador realiza o controle da planta, seguindo o ciclo de aquisição do sinais de entrada advindos da planta, processamento dessas entradas e emissão dos sinais para a planta, resultantes do processamento das entradas e do estado atual do sistema de fabricação.

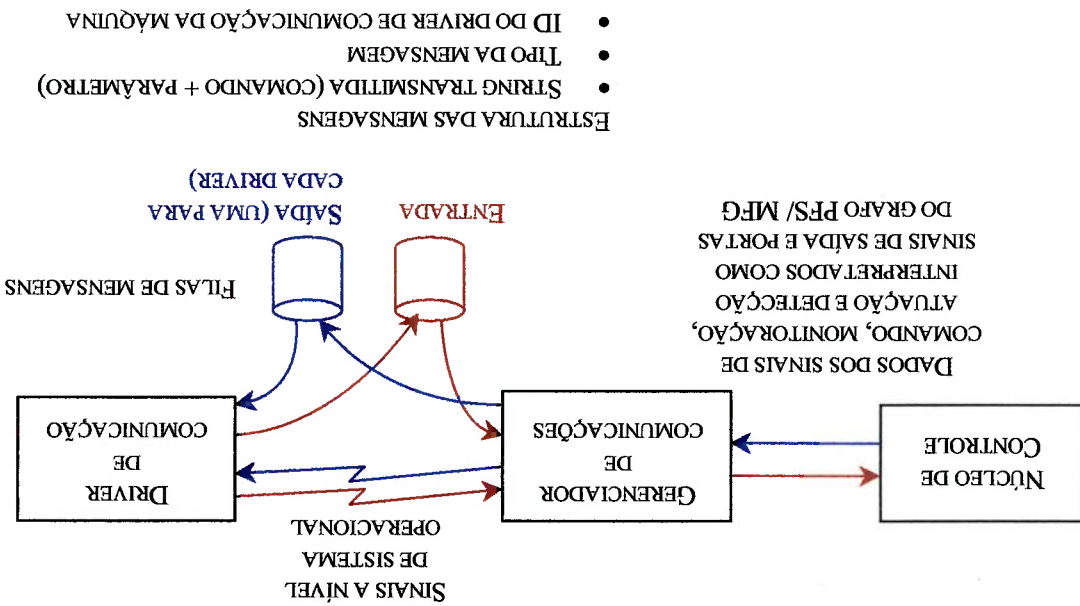
Ainda considerando a Figura 4.7, verifica-se que a interface com os níveis superiores na hierarquia de controle é feita de modo simples, através de mensagens de supervisão do funcionamento (quando ocorrem alterações de estado na célula) e da geração do relatório ao final do processo de fabricação.

### 4.3.3 Comunicação Entre o Núcleo de Controle e os Drivers de Comunicação

A comunicação entre o núcleo de controle e os drivers de comunicação, conforme já mencionado, é essencial para o funcionamento satisfatório do sistema de controle integrado. A Figura 4.8 ilustra como é estabelecida a comunicação entre o grafo PFS/MFG de controle e a planta.

O NÚCLEO DE CONTROLE troca informações sobre os sinais de atuação com o GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES através de estruturas de dados diretamente vinculadas ao grafo PFS/MFG. Na emissão de sinais (mensagens) para a célula, o GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES interpreta os dados nessas estruturas de dados para (1) determinar qual equipamento deverá receber a mensagem, (2) colocar uma mensagem para o DRIVER DE COMUNICAÇÃO apropriado na fila de mensagens de saída reservada para esse driver e (3) sinalizar o driver em questão sobre a existência de uma mensagem a ser emitida para o equipamento da célula. Então, o DRIVER DE COMUNICAÇÃO lê essa mensagem da fila e a transmite através do canal serial para o equipamento. Na recepção de sinais da célula, o DRIVER DE COMUNICAÇÃO, ao receber uma transmissão do equipamento da célula (1) coloca uma mensagem na fila de mensagens de entrada do GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES, (2) emite um sinal para o gerenciador, indicando a chegada de uma mensagem do equipamento da célula. O gerenciador de comunicações, então, lê essa mensagem da fila de mensagens de entrada e a converte para o formato exigido pelo

Figura 4.9 Implementação da comunicação entre o núcleo de controle e a planta



núcleo de controle. A estrutura das mensagens trocadas entre o GERENCIADOR DE COMUNICAÇÕES e os DRIVERS DE COMUNICAÇÃO está indicada na Figura 4.9.

O protocolo físico adotado para as comunicações entre os equipamentos da célula e os drivers de comunicação é o RS-232C. O software de comunicação serial, entretanto, pode ser instalado sem alterações em máquinas que utilizam o protocolo físico RS-422.

#### **4.4 Teste do Controlador**

O controlador foi testado com a utilização de programas de controle que envolviam operações com o robô IRB-6 e com o torno CNC da Traub. Considera-se que estes dois equipamentos compreendem elementos suficientes para testar as duas formas de integração entre o controlador e a planta, isto é, controle integrado direto e indireto. Os programas de controle compreendem a fabricação de peças com a utilização do torno sem DNC e do robô manipulador com DNC.

Os processos de fabricação controlados são compostos das seguintes operações:

- ❖ Colocação da peça no torno (colocação da peça em bruto e fechamento da porta
- do torno)
- ❖ Usinagem no torno
- ❖ Retirada da peça do torno (abertura da porta do torno e retirada da peça usinada)

Para a realização destes processos, foram desenvolvidos programas para o robô, que ficam armazenados na memória, para cada etapa de manipulação da peça a ser realizadas nessas operações de fabricação:

- ❖ Colocação da peça no torno

- ❖ Fechamento da porta do torno
- ❖ Abertura da porta do torno
- ❖ Retirada da peça do torno

Um exemplo de programa de controle referente a um destes testes está no Anexo 3.

Com a execução destes programas, verificou-se o funcionamento satisfatório (de acordo com as especificações consideradas) do mecanismo de comunicação entre o NÚCLEO DE CONTROLE e os DRIVERS DE COMUNICAÇÃO, apresentado na Figura 4.8. A supervisão da execução do programa de controle também foi satisfatória (de acordo com as especificações consideradas), com emissão de mensagens para o operador no console do computador.

#### *Resultados Obtidos*

Com a implementação do controlador baseado em PFS/MFG, foi obtido um sistema de controle integrado que considera a abordagem de sistemas antropocêntricos de produção. Os testes realizados comprovam a possibilidade de execução do controle integrado diretamente a partir de um grafo MFG obtido segundo o processo descrito no Capítulo 3 e que pode ser explorado pelo conceito de produção enxuta. Além disso, o sistema implementado dessa forma demonstra como pode ser realizado o aproveitamento de equipamentos obsoletos na migração de um sistema de produção convencional para um sistema de produção enxuta, devido à autonomia do operador.

#### **4.5 Considerações Gerais do Capítulo**

Este capítulo descreveu a implementação de um controlador baseado em PFS/MFG para um exemplo de sistema antropocêntrico de produção enxuta. Dentro das restrições do

exemplo, os resultados obtidos comprovam a possibilidade de utilização direta do PFS/MFG como técnica de representação da lógica de controle para sistemas de produção.

A implementação de um controlador baseado em PFS/MFG demonstra a possibilidade de aplicação do modelo utilizado nas etapas de projeto e análise do sistema de produção e também ao controle da operação das instalações de fabricação. Isto elimina as etapas intermediárias para a obtenção da representação do controle efetivo ("enxuto") da planta, conforme discutido no Capítulo 3, agilizando a implantação de sistemas produtivos.

Os resultados obtidos no caso estudado indicam que a aplicação da metodologia PFS/MFG para o projeto e o controle de sistemas antropocêntricos de produção, aliada à autonomia do operador, exemplificando como equipamentos obsoletos podem ser efetivos tanto em um sistema de produção convencional quanto em um sistema de produção enxuta. Isto representa uma opção interessante e quantificável pelo procedimento considerado no processo de modernização das instalações de fabricação de uma indústria.



rápido e eficiente, sem perda nem redundância de informações ("enxuto"). Em última ferramenta em todo o processo faz com que os resultados sejam atingidos de modo mais realizado com a aplicação sistemática do PFS/MFG. O fato de se utilizar uma só sistema antropocêntrico de produção dentro de um ambiente de produção enxuta foi Com isso, descreveu-se como o processo de desenvolvimento e implantação de um de sistemas de produção.

antropocêntrica), possibilitando o pleno aproveitamento de suas vantagens na operação no desenvolvimento dos sistemas de controle, é tratada de forma contrária (abordagem autonomia, antes considerada como um aspecto secundário (abordagem tecnocêntrica) grau de autonomia do operador durante o processo de desenvolvimento. Essa etapas de análise e controle de sistemas de produção, e possibilita a consideração do A metodologia PFS/MFG é abrangente, sendo utilizada desde as etapas de concepção as PFS/MFG (capítulo 4).

controle se torna possível com a implementação de um controlador baseado em modelos de análise e de controle e a evidência de que a utilização direta do modelo de se um ambiente de produção enxuta (capítulo 3). Os resultados dessa aplicação foram os antropocêntricos de produção mais eficientes, foi aplicada a tais sistemas considerando- porte. A metodologia PFS/MFG, por contribuir para o estudo de sistemas sistemas de produção enxuta principalmente para as indústrias de pequeno e médio competitividade industrial, levam à consideração da aplicação dos paradigmas dos uma melhor interação do elemento humano com o ambiente de trabalho e com maior As motivações iniciais deste trabalho, que são a necessidade de considerar e explorar

---

## 5 Conclusões

Uma das decorrências dessa flexibilidade é a possibilidade de utilização do controlador baseado em PFS/MFG como recurso auxiliar para treinamento de operadores. Uma série de programas de controle, associada a uma escala crescente de autonomia do operador, pode ser elaborada e utilizada como parte de um programa de treinamento mais abrangente. Nas etapas iniciais do treinamento, utiliza-se um programa em que a autonomia dos operadores de uma equipe de trabalho é pouca ou nenhuma. À medida que esses operadores vão adquirindo prática nas atividades a eles atribuídas, atingindo

instalações de fabricação, sempre que necessário.

Além disso, esse controlador demonstrou que é possível efetuar o controle de uma célula de fabricação através de um grafo PFS/MFG, mesmo com a utilização de uma plataforma computacional não-dedicada, possibilitando a utilização direta dos resultados da análise sistemática do sistema de fabricação através da metodologia PFS/MFG. Por ser um controlador programável, apresenta flexibilidade para adequação do sistema de controle a um mix de produção diferente, com ou sem alterações nas

manutenção corretiva, conforme o paradigma de produção enxuta.

O controlador baseado em MFG implementado neste trabalho fornece suporte às decisões do supervisor do controlador da célula, ao invés de limitar sua atividade, o que evidencia o conceito de sistemas antropocêntricos de produção. Analogamente, o modelo de controle obtido levando em conta a autonomia do operador dos equipamentos da célula possibilita sua intervenção no processo sempre que forem necessários reparos ou ajustes, sem a necessidade de interrupção da produção para mix de produtos e, conseqüentemente, a mudanças operacionais e estruturais da fábrica. instância, isto resulta em maior competitividade da indústria, dada a maior rapidez na resposta às exigências de mercado, que normalmente estão relacionadas a alterações no

um nível mais alto de qualificação, o programa de controle pode ser trocado por outro em que a autonomia é um pouco maior. Assim, além de proporcionar aos operários um processo de treinamento prático, mais gratificante, a própria empresa pode se beneficiar da redução do tempo entre a contratação e a efetiva alocação do operador nas atividades de produção.

As características do MFG modularizado como técnica de modelagem, por sua vez, contribuem para a elaboração de programas de controle facilmente adaptáveis a variações nos parâmetros de produção, como por exemplo mudança no tamanho do lote ou alteração nos parâmetros operacionais dos equipamentos disponíveis. Além disso, os recursos de troca de sinais com elementos externos ao grafo MFG possibilitam a modelagem imediata da integração do sistema de produção, tanto com os níveis inferiores quanto com os níveis superiores na hierarquia de controle do CIM.

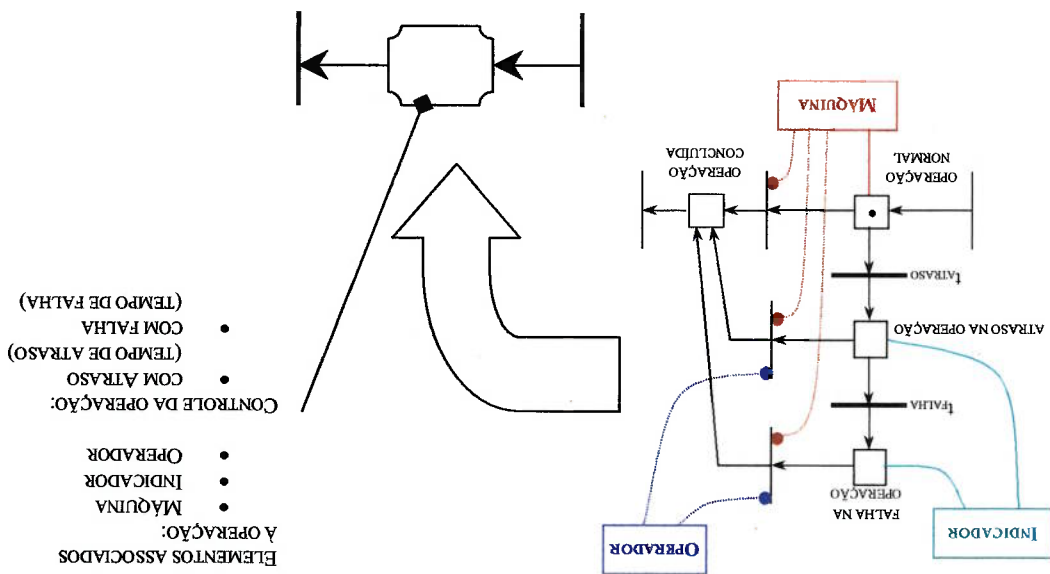
#### *Propostas de Trabalhos Futuros*

Um possível trabalho de continuação desta dissertação pode ser feito a partir da Figura 5.1, em que é representado um elemento básico no controle de sistemas de produção em ambiente de produção enxuta. A definição e a formalização de um "macro-elemento" para modelagem de situações de atraso e falha é muito útil para simplificação da representação do controle em células de fabricação em um sistema de produção enxuta.

Em relação à interface do controlador, para a versão implementada neste trabalho o programa de controle é representado em um formato simplificado, que consiste em uma lista de parâmetros que representam o grafo PFS/MFG. Trabalhos futuros para aprimoramento desta interface podem incluir (1) a utilização da linguagem PFS/MFG, definida em MIYAGI (1988), para especificação dos programas de controle e (2) a inclusão de um editor PFS/MFG para a edição de programas de controle na forma

gráfica, com a conversão para a linguagem PFS/MFG ou para o formato de dados utilizado atualmente pelo controlador. Ainda considerando essa interface do controlador, outro trabalho que a ser desenvolvido é a geração automática de programas de controle das células de fabricação a partir das informações do MRP II e do CAPP, conforme introduzido em KAGOHARA et. al. (1994a) para o caso específico do controlador implementado.

Figura 5.1 Proposta para macro-elemento com controle de atrasos e falhas operacionais em sistemas de produção enxuta



## **Anexo 1. A Célula Integrada de Manufatura**

A Célula Integrada de Manufatura, uma planta-piloto de manufatura automatizada, faz parte do Projeto de Pesquisa Temática FAPESP nº 90/4225-3, "Automação Industrial", mencionado no Capítulo 4. Neste Anexo são descritas as linhas de pesquisa associadas ao projeto e as instalações físicas da Célula Integrada de Manufatura.

### **A1.1 Atividades de Pesquisa Envolvidas**

Dado o amplo escopo do projeto, as diversas possibilidades de desenvolvimento de pesquisas foram organizadas nas linhas de pesquisa, mostradas na Tabela A1.1. A linha sombreada nessa tabela indica o enquadramento do presente trabalho no projeto.

Além deste trabalho, vários outros relacionados a essas linhas de pesquisa foram desenvolvidos; alguns deles documentados em CHIARAMONTE (1993), CHWIF (1994), COZMAN (1991), KAGOHARA et al. (1992), KAGOHARA, MIYAGI (1992), MIYAGI (1993a), MONTEVECCHI (1995) e MOTOHASHI et al. (1994a) (1994b).

### **A1.2 Equipamentos e Instalações**

A Célula Integrada de Manufatura está instalada em uma sala especialmente destinada ao projeto, no Bloco B, sala MT19, Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP, com aproximadamente 90 m<sup>2</sup>. Os equipamentos componentes da Célula Integrada de Manufatura estão instalados conforme indicado na Figura 4.2, no Capítulo 4.

- ❖ Seis estações de trabalho IBM RS6000. Cinco delas são dedicadas ao planejamento da produção e projeto de produtos e uma é dedicada ao sistema de controle da planta, instalada na sala de controle da própria Célula. A interface de estação de trabalho de controle da planta com os equipamentos é feita através de

Tabela A1.1 Linhas de pesquisa envolvidas no projeto "Automação Industrial"

LINHA DE PESQUISA	DESCRIÇÃO
Concepção e análise da célula de manufatura	Trata de pesquisas associadas ao planejamento e à análise de sistemas de manufatura avançados, sendo de grande importância atualmente devido às necessidades crescentes de otimização dos sistemas de manufatura, segundo SEQUEIRA (1990).
Transformação	Engloba a utilização de máquinas-ferramenta de comando numérico (NC) para operações de usinagem. O objetivo desta linha de pesquisa é inserir esta classe de máquinas em ambientes avançados de manufatura, através de sua integração lógica (aos sistemas CAD/CAM e a controladores de células) e física (sistemas de carga/descarga de peças, troca de ferramenta).
Manipulação	Trata dos aspectos de interação entre o ambiente de máquinas de transformação e robôs manipuladores. Envolve a manipulação de peças, ferramentas e dispositivos de fixação, bem como a integração lógica do controlador do robô ao controle do sistema de manufatura.
Metrologia e inspeção	Trata da concepção de sistemas para a medição de peças, verificando se suas propriedades são satisfatórias segundo as exigências de qualidade que forem definidas.
Transporte	Visa o desenvolvimento de veículos autônomos de transporte (AGVs). Em particular, neste projeto, foi desenvolvido o veículo autônomo de transporte ARIEL, indicado na Figura A1.1.
Coordenação	A Coordenação da Célula Integrada de Manufatura é responsável pela monitoração, pelo sequenciamento e pela supervisão das tarefas executadas em cada um dos demais subsistemas de um sistema avançado de manufatura. Em um ambiente de CIM, um sistema de controle integrado das instalações de fabricação é essencial para a implementação bem-sucedida dos novos paradigmas da indústria de manufatura.
Integração CAD/CAM	Envolve a integração entre os ambientes de produção e de projeto, visando a diminuição do ciclo de desenvolvimento de um produto e a obtenção de um produto final de melhor qualidade.
Integração aos sistemas de organização da produção	As interfaces entre o controle do sistema de manufatura e os sistemas de planejamento e controle da produção permitem a integração completa da manufatura, indispensável em um ambiente CIM.

uma placa multi-serial de 8 portas, das quais 5 são utilizadas para os equipamentos e 3 estão disponíveis para possíveis expansões do sistema.

❖ Torno DNC QT8N, da Mitsubishi/Mazak, com uma castanha e sem contra-ponta. A unidade de controle deste equipamento (Mazatrol T-32) tem capacidade de comunicação através de protocolo proprietário de seu fabricante (PCRM), possibilitando sua operação diretamente a partir de controladores externos.

❖ Torno CNC TND360, da Traub, com castanha e contra-ponta. A unidade de controle deste equipamento não tem capacidade de comunicação direta com controladores de nível hierárquico superior. A única comunicação possível com equipamentos externos é o carregamento/descarregamento de programas de usinagem, através uma porta serial.

❖ Fresadora CNC Traub UF-SHW-11. Como no caso do torno TND 360, a unidade de controle da fresadora não tem capacidade de comunicação direta com controladores de nível hierárquico superior, mas pode carregar/descarregar programas de usinagem através de sua porta serial.

❖ Robô ABB (Asea) IRB6, com trilha para deslocamento. Sua unidade de controle possui capacidade de comunicação com controladores externos e utiliza o protocolo ADLP-10, de propriedade da ABB. A unidade de controle também executa o controle do trilha.

❖ Máquina de medição tridimensional CNC, da Mitutoyo. Sua unidade de controle também não possui a capacidade de comunicação a dispositivos de controle externos.

❖ Veículo automático de transporte Ariel, desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica, programável e autônomo.



## Anexo 2. Controlador da Célula Integrada de Manufatura - Estrutura do Software

O programa principal do núcleo de controle foi descrito no Capítulo 4. Este anexo apresenta os demais elementos do software do Controlador da Célula.

### A2.1 Definição das Estruturas de Dados

Mfg\_Data.h

Descrição:	Estruturas de dados relacionadas ao núcleo de simulação.
Recursos Adicionais do Compilador C:	stdio.h (Rotinas Básicas de I/O)
Outros Módulos do Sistema:	"SC_Data.h" (Estruturas Básicas do Sistema)
Observações Gerais	Este módulo foi implementado com as definições feitas por MIYAGI (1988)

### DEFINIÇÕES DE CONSTANTES GERAIS

Definição	Valor	Comentários
COMMENT_SIZE	50	número máximo de caracteres em uma descrição de elemento do MFG (box, transição ou box de interface)
NBOXES	5	número máximo de boxes de entrada ou saída de uma transição
NGATES	10	número máximo de portas de uma transição
NSIGNAL	5	número máximo de sinais de saída de um box
DEADLOCK_LIMIT	100	limite de tempo sem disparo de transições (em ciclos do controlador)

### DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE BOXES

Definição	Valor	Comentários
BOXTYPE	int	indica que os boxes são identificados por números inteiros
S	0	simples
M	1	múltiplo
D	2	dispersão
G	3	agrupamento
T	4	temporizado
U	5	distribuição - simples
C	6	distribuição - múltiplo

**DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE GATES DE UMA TRANSIÇÃO (HABILITADOR OU INIBIDOR)**

Definição	Valor	Comentários
GATYPE1	int	indica que os tipos de gates de uma transição são identificados por números inteiros
PERM	0	permissivo
INH	1	inibidor

**DEFINIÇÃO DOS TIPOS DE GATES DE UMA TRANSIÇÃO (N OU N) E DO TIPO DE INTERFACE DO IOBOX (ENTRADA OU SAÍDA)**

Definição	Valor	Comentários
GATYPE2	int	indica que a origem do sinal do gate ou o tipo de interface do IOBOX são identificados por números inteiros
IN	0	do interior do box / IOBOX de entrada de sinal da planta
OUT	1	do exterior do box / IOBOX de saída de sinal para a planta

**DEFINIÇÃO DE UM BOX**

Estrutura	Tipo do elemento	Nome do elemento	Descrição
int	int	BoxNbr	número de identificação do box
BOXTYPE	Type	Type	tipo de box
int	int	ParN	parâmetro N do box
int	int	Marks	número de marcas
char[]	Condition	Condition	definição da condição; string de tamanho COMMENT_SIZE
int	NSignal	NSignal	número de sinais de saída
int[]	BoxSaída	BoxSaída	boxes de saída de sinal; vetor de tamanho NSIGNAL
GATYPE2[]	SignalType	SignalType	origem dos sinais de saída; vetor de tamanho NSIGNAL
struct b*	prox	prox	ponteiro para o próximo box na lista ligada

**DEFINIÇÃO DE UM BOX DE INTERFACE**

Estrutura	Tipo do elemento	Nome do elemento	Descrição
int	int	IOnbr	número de identificação
int	int	IOMark	flag de marcação
int	int	IOkind	tipo de interface: in ou out
int	int	IOCom	comando associado ao box
int	int	IOFm	parâmetro do comando associado
int	int	IOMaq	maquina associada ao IOBOX
struct io_b*	seguinte	seguinte	próximo box de interface na lista ligada

**DEFINICAO DE UMA TRANSICAO**

Nome do elemento	Descrição	Tipo do elemento	Estrutura
TransNbr	número de identificação da transição	int	int
Nbin	número de boxes de entrada	int	int
Bin	boxes de entrada; vetor de tamanho NBOXES	int[]	int[]
Nbout	número de boxes de saída	int	int
Bout	boxes de saída; vetor de tamanho NBOXES	int[]	int[]
NgatInt	número de gates internos	int	int
NgatExt	número de gates externos	int	int
OrigemInt	boxes de origem dos gates internos; vetor de tamanho NGATES	int[]	int[]
OrigemExt	boxes de origem dos gates externos; vetor de tamanho NGATES	int[]	int[]
TipogateInt	tipos dos gates internos; vetor de tamanho NGATES	int	GATYPE1[]
TipogateExt	tipos dos gates externos; vetor de tamanho NGATES	int	GATYPE1[]
OrigateInt	origem dos arcos dos gates; vetor de tamanho NGATES	int	GATYPE2[]
fire	flag de disparo	boolean	boolean
next	próxima transição da malha	struct t *	struct t *

**DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE INTERFACE ENTRE O CONTROLADOR E O DRIVER DE COMUNICAÇÃO**

Nome do elemento	Descrição	Tipo do elemento	Estrutura
box_interface	ponteiro para o box da lista ligada	IOBOX *	IOBOX *
Sinal	marcação do box de interface (= sinal binário correspondente ao estado do sinal)	int	int
nextbox	próximo elemento da lista ligada de interface	struct interf *	struct interf *

**DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA PARA RELATORIOS DE SIMULACAO**

Nome do elemento	Descrição	Tipo do elemento	Estrutura
Condicao	Box associado à condição a ser monitorada	int	int
counter	contador de instantes de atividade (= número de ciclos em que o box esteve marcado)	int	int
nextfield	próximo elemento do relatório	struct report *	struct report *

**DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE MONITORAÇÃO DE MUDANÇA DE ESTADO DOS ELEMENTOS DA INTERFACE COM OS DRIVERS DE COMUNICAÇÃO**

Nome do elemento	Descrição
IOBOX*	Box de interface associado ao sinal a ser monitorado
IOEstadoAtual	estado atual do box (= estado atual do sinal associado)
IOchanged	indicador de mudança de estado
struct imm	próximo elemento da estrutura de monitoração de sinais (entrada ou saída)

**DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE MONITORAÇÃO DE MUDANÇA DE ESTADO DOS BOXES, PARA MONITORAÇÃO DO CONTROLADOR**

Nome do elemento	Descrição
BOX*	Condição
int	EstadoAtual
boolean	Changed
struct mm*	próximo elemento da estrutura de monitoração de boxes

SC\_Data.h

Descrição:	Recursos Adicionais do Compilador C:	Outros Módulos do Sistema:	Observações Gerais
Estruturas de dados relacionadas ao controlador da célula; reaproveitado do simulador da célula documentado em [Kagohara 1992]	types.h	nenhum	

**CONSTANTES GERAIS**

Definição	Valor	Comentários
FimDelinha	"\x0"	Caractere de final de linha - linguagem C
NUM_COMMANDS	7	Número máximo de comandos trocados entre o controlador e cada máquina da célula
NUM_MACHINES	5	Número de máquinas na célula
FALSE	0	Definição do valor FALSE (tipo boolean da linguagem Pascal)
TRUE	1	Definição do valor TRUE (tipo boolean da linguagem Pascal)
boolean	short int	Definição do tipo boolean (TRUE ou FALSE): compatibilidade com linguagem Pascal

**DEFINIÇÃO DA MÁQUINA**

Nome do elemento	Descrição	Tipo do elemento
NomeMaq;	Nome da máquina	char[]
DriverPID;	ID do processo do driver de comunicação associado a máquina	pid_t
Queue;	ID da fila de mensagens associada	int

**DEFINIÇÃO DOS NOMES DOS COMANDOS A SEREM TROCADOS COM A MÁQUINA**

Nome do elemento	Descrição	Tipo do elemento
COMANDOS	Comandos trocados com as máquinas; vetor de tamanho NUM_COMMANDS;	char[]

varsGlob.h

Descrição:	Recursos Adicionais do Compilador C:	Outros Módulos do Sistema:	Observações Gerais
Declarações das variáveis e tipos globais do controlador	nenhum	"SC_Data.h" Estruturas de dados básicas do sistema	
		"Mfg_Data.h" Dados referentes aos grafos MFG	

**MAILBOX DE ENTRADA DO CONTROLADOR**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
	int	InputPort	canal para onde os drivers de comunicação irão enviar as mensagens para o controlador
	int	tem_mensagem	flag que indica a existência de mensagens para o controlador

**ESTRUTURAS DE DADOS DO PROGRAMA DE CONTROLE**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
	BOX*	Boxes	Boxes do grafo de controle
	TRANSICAO*	Trans	Transições do grafo de controle
	IOBOX*	Interf	Estrutura da interface com a planta
	char[]	ARQUIVO	nome do arquivo com o programa de controle

**INTERPRETACAO DOS COMANDOS DA CELULA DE MANUFATURA**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
	COMANDOS[]	COMMAND_MAP	Vetor com nomes dos comandos trocados entre o controlador e a célula

**DESCRICA0 DOS EQUIPAMENTOS**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
MAQUINA[]	Equipamento		definição dos dados dos equipamentos da célula (nome, PID e mailbox associados); vetor de tamanho NUM_MACHINES

**REGISTROS DE TRANSAÇÃO DE ESTADOS**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
MEM*	Memória;		lista ligada de monitoração de Boxes
IOMEM*	MemorialO		lista ligada de monitoração de IOBoxes

pid.h

Descrição:	Definições necessárias para manipulação dos PIDs no controlador, para a realização da comunicação entre o controlador e os drivers de comunicação. Um PID identifica unicamente um processo que está sendo executado no sistema operacional UNIX.
Recursos Adicionais do Compilador C:	types.h
Outros Módulos do Sistema:	nenhum
Observações Gerais	

**ESTRUTURA DE DADOS DE ARMAZENAMENTO DE PIDS**

Varável	Tipo	Nome	Comentários
pid_t	char[]	Nome do elemento	Nome do arquivo onde esta armazenado o PID
_PID	Nome	Nome do elemento	Nome do arquivo onde esta armazenado o PID
_PID	Nome	Nome do elemento	Nome do arquivo onde esta armazenado o PID
			Descrição dos PIDs do controlador e dos drivers de comunicação; os valores -1 referem-se somente à inicialização da variável.

- 1, "d1PID"
- 1, "d2PID"
- 1, "d3PID"
- 1, "d4PID"
- 1, "v1PID"
- 1, "v2PID"
- 1, "v3PID"
- 1, "v4PID"
- 1, "cPID"

## A2.2 Documentação dos módulos do controlador e suas rotinas

Mfg\_Code.c

Descrição:	Rotinas do núcleo de simulação e suas interfaces com o processo controlado.	
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h>	Rotinas Básicas de I/O
Outros Módulos do Sistema:	Mfg_Data.h Mfg_Msg.h SC_Utilis.h	Estruturas de dados do MFG/FSS Rotinas de Emissão de Mensagens Rotinas utilitárias
Observações Gerais	Este módulo foi implementado com as definições de MIRYAGI (1988)	

### ROTINA BOXREAD

Propósito: Leitura de elementos de um box, de um

arquivo de entrada.

Parâmetros de Entrada: arq - arquivo de entrada

boxl - box a ser lido

Parâmetros de saída:

M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização dos dados do box

Leitura dos dados do box do arquivo de entrada

Definição do ponteiro para o próximo box como sendo NULL

### ROTINA TRANSREAD

Propósito: Leitura de dados de uma transcao, a partir

de um arquivo de entrada

Parâmetros de Entrada: arq - arquivo de entrada

trans - transcao a ser lida

Parâmetros de saída:

M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização dos dados da transição
Leitura dos dados da transição do arquivo de entrada
Definição do ponteiro para a próxima transição como sendo NULL

-----  
 /\*  
 Propósito: Leitura de elementos de um box de interface,  
 de um arquivo de entrada.  
 Parametros de Entrada: arq - arquivo de entrada  
 io - box a ser lido  
 Parametros de saída:  
 M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS  
 \*/  
 -----

Inicialização dos dados do box de interface
Leitura dos dados do box de interface do arquivo de entrada
Definição do ponteiro para o próximo box de interface como sendo NULL

-----  
 /\*  
 Propósito: Entrada de dados do grafo MFG do nucleo de  
 simulacao.  
 Parametros de Entrada: arqname - nome do arquivo de entrada  
 boxes - ponteiro para estrutura de  
 boxes do grafo MFG  
 trans - ponteiro para estrutura de  
 transicoes do grafo MFG  
 interface - ponteiro para estrutura  
 de interface do grafo MFG  
 Parametros de saída: TRUE se os dados foram carregados  
 FALSE c.c.  
 M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS  
 \*/  
 -----

**ROTINA DATAINPUT**



Inicialização dos dados de processamento interno da rotina		Não		Houve erro na abertura do arquivo?		Sim	
Emissão de mensagem de erro		Abertura do arquivo		Inicialização das listas ligadas na qual serão colocados os dados lidos		Enquanto não chegar o fim de arquivo	
Não		Não		Esta no final do arquivo?		Sim	
Não		Não		O elemento atual é um box?		Sim	
Não		Não		É uma transição?		Sim	
Não		Não		É a 1ª trans.?		Sim	
Não		Não		Alocação de memória para a trans. seguinte na primeira lista ligada		Alocação de memória para o primeiro box da lista ligada	
Alocação de memória para o primeiro box de IO de IO seguinte na lista ligada		Alocação de memória para a trans. seguinte na primeira lista ligada		Leitura dos dados da lista ligada		Leitura dos dados do box	
Leitura dos dados do box de IO		Leitura dos dados da lista ligada		Leitura dos dados da trans.		Leitura dos dados do box	
Não		Não		Sim		Sim	
É o 1º box de IO?		Alocação de memória para a trans. seguinte na primeira lista ligada		Alocação de memória para o primeiro box da lista ligada		Alocação de memória para o primeiro box da lista ligada	

ROTINA INICIALIZESTATECOUNTER

Propósito: Inicializar o state counter associado a um grato MFG

Parâmetros de Entrada: boxes - boxes do grato MFG

StateCounter - state counter

do grato MFG

Parâmetros de saída:

M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

\*/

Para cada elemento da lista ligada de boxes
Alocação de memória para o elemento na lista ligada de contadores de estados
Associação do elemento ao box
Inicialização da contagem de estados

ROTINA INICIALIZATRANSICOES

Propósito: Inicialização das transições do grato

Parâmetros de Entrada: trans - ponteiro para estrutura

de transições do grato MFG

Parâmetros de saída:

M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

Para cada transição

Indicar que a transição é disparável, por padrão

\*/

**ROTINA ACHAPONTEIROBOX**

Propósito: Encontrar o endereço de memória de um box  
 de boxes de Entrada: boxes - ponteiro para estrutura  
 de boxes do grafo MFG  
 nbox - número do box  
 Parametros de saída: endereço de memória do box  
 ou NULL  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

\*/

Inicialização dos dados de processamento do loop	
O ID do box corresponde ao valor de nbox fornecido?	
Não	Passar para o próximo box
Sim	Atribuir o ponteiro do box para o valor de retorno da rotina
Enquanto houver boxes a serem verificados	

**ROTINA ACHAPONTEIROBOX**

Propósito: Encontrar o endereço de memória de um box  
 de interface  
 Parametros de Entrada: interface - ponteiro para estrutura  
 de boxes de interface  
 nbox - número do box  
 Parametros de saída: endereço de memória do box  
 ou NULL  
 M.Y.Kagohara C.T.Motomashi - EPUSP/PMC/LAS

\*/

Inicialização dos dados de processamento do loop	
O ID lobox corresponde ao valor de nbox fornecido?	
Não	Passar para o próximo box
Sim	Atribuir o ponteiro do box de interface para o valor de retorno da rotina
Enquanto houver boxes de interfaces a serem verificados	

**ROTINA TRATABOXEST**

Propósito: Tratamento dos boxes temporizados  
 Parametros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura  
 de boxes do grafo MFG  
 Parametros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

\*/

Para cada box na lista ligada	
O box é do tipo T?	
Não	
Sim	
Decremete o número de marcas no box	
Indique que houve mudança de estado do box	

**ROTINA INPUTEST**

Propósito: Testar a disparabilidade de uma transicao sob o aspecto de boxes de entrada  
 Parametros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura de boxes do grafo MFG  
 trans - ponteiro para a estrutura de transicoes do grafo MFG  
 Parametros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização dos dados de processamento do loop																																													
Para cada box de entrada																																													
Encontre o ponteiro do box																																													
Tipo do box																																													
0, 1, 2, 5, 6	Marcação = 0?																																												
3	Marcação < N?																																												
4	Marcação > 1 ou = 0?																																												
<table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="2">Passar para a próxima transição</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Enquanto houver transições a serem verificadas</td> </tr> </table>		<table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		Passar para a próxima transição		Enquanto houver transições a serem verificadas	
<table border="1"> <tr> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> <td> <table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim							
<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim		<table border="1"> <tr> <td>Marcação = 0?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &lt; N?</td> <td>Sim</td> <td>Não</td> </tr> <tr> <td>Marcação &gt; 1 ou = 0?</td> <td>Sim</td> <td></td> </tr> </table>	Marcação = 0?	Sim	Não	Marcação < N?	Sim	Não	Marcação > 1 ou = 0?	Sim																	
Marcação = 0?	Sim	Não																																											
Marcação < N?	Sim	Não																																											
Marcação > 1 ou = 0?	Sim																																												
Marcação = 0?	Sim	Não																																											
Marcação < N?	Sim	Não																																											
Marcação > 1 ou = 0?	Sim																																												
Marcação = 0?	Sim	Não																																											
Marcação < N?	Sim	Não																																											
Marcação > 1 ou = 0?	Sim																																												
Marcação = 0?	Sim	Não																																											
Marcação < N?	Sim	Não																																											
Marcação > 1 ou = 0?	Sim																																												
Passar para a próxima transição																																													
Enquanto houver transições a serem verificadas																																													

**ROTINA OUTPUTEST**

Propósito: Testar a disparabilidade de uma transicao sob o aspecto de boxes de saída  
 Parametros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura de boxes do grafo MFG  
 trans - ponteiro para a estrutura de transicoes do grafo MFG  
 Parametros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização dos dados de processamento do loop		N	
A transição é disparável?		Sim	
Para cada box de entrada			
Encontre o ponteiro do box			
Tipo do box			
0, 2, 4, 5		1, 3, 6	
Não		Não	
Marcar transição como disparável		Marcar transição como não disparável	
Marcação > 0?		Marcação > N?	
Sim		Sim	
Passar para a próxima transição			
Enquanto houver transições a serem verificadas			

ROTINA GATEINTEST

Propósito: Testar a disparabilidade de uma transição sob o aspecto de gates internos  
 Parâmetros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura de boxes do grafo MFG  
 trans - ponteiro para a estrutura de transições do grafo MFG  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS

Inicialização dos dados de processamento do loop		N	
A transição é disparável?		Sim	
Para cada gate interno			
Encontre o ponteiro do box de origem da porta			
Não			
A porta é do tipo IN?			
Não		Sim	
Habilitadora?		Habilitadora?	
Marcação > 0		Marcação = N	
Marcação = 0		Marcação < N	
Sim		Sim	
Marcar Transição como disparável		Marcar Transição como disparável	
Marcação > 0		Marcação < N	
Sim		Sim	
Passar para a próxima transição			
Enquanto houver transições a serem verificadas			

ROTINA GATEEXTTEST

Propósito: Testar a disparabilidade de uma transição sob o aspecto de gates externos

Parâmetros de Entrada: interface - ponteiro para a estrutura de boxes de interface  
trans - ponteiro para a estrutura de transições do grafo MFG  
Parâmetros de saída:  
M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização dos dados de processamento do loop		A transição é disparável?		N	
Para cada gate externo		Encontre o ponteiro do box de origem da porta		Não	
A porta é habilitadora?		Sim		Não	
Marcar Trans ã		Marcação = 0?		Sim	
disparável		Marcação = 1?		Sim	
Marcar Trans ã		disparável		Passar para a próxima transição	
Enquanto houver transições a serem verificadas					

ROTINA CONFLICTEST

\*/

Propósito: testar a disparabilidade de uma transição sob o aspecto de conflitos entre transições de Entrada: trans - ponteiro para a estrutura de transições do grafo MFG  
Parâmetros de saída:  
M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização dos dados para processamento do loop, a partir da primeira transição				Enquanto a transição seguinte não for nula			
A transição é disparável?				N			
Para cada uma das transições subsequentes na lista ligada				N			
Há box de entrada em conflito?		N		Há box de saída em conflito?		N	
Sim				Sim			
Marcar o flag de conflito		N		Marcar o flag de conflito		N	
Sim				Sim			
Flag de conflito marcado?				N			
S				Marcar transição como não-disparável			
Passar para a próxima transição							

**ROTINA MUDESTADOMFG**

Propósito: Realizar a transição de estado de um grafo MFG  
 Parametros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura  
 de boxes do grafo MFG  
 trans - ponteiro para a estrutura  
 de transicoes do grafo MFG  
 Parametros de saída: Numero de transicoes disparadas  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

\*/

Inicialização dos dados para execução do loop				A transição é disparável?			
N				Marcar que a transição foi disparada			
Para cada box de entrada				N			
Tipo do box:		0, 3, 4, 5		Marcação ← 0		Marcação ← (Marcação atual) - 1	
		1, 2, 6					
Para cada box de saída				N			
Tipo do box:		1, 3, 6		Marc. ← Marc. + 1		Marc. ← N	
		2					
		0, 5		Marc. ← 1		Marc. ← N+1	
Passar para a próxima transição							
Até que todas as transições tenham sido analisadas							

Retornar a condição que indica se houve transição disparada

**ROTINA LIMPAINBOX**

Propósito: Resetar o sinal do gate com origem externa  
Esta é uma das várias formas de se implementar  
por software o sinal de gate.  
Parâmetros de Entrada: interface - ponteiro para a estrutura  
de boxes de interface  
trans - ponteiro para a estrutura  
de transições do grafo MFG  
Parâmetros de saída: void  
M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/LAS

Inicialização dos dados para execução do loop	
N	A transição é disparável?
	Sim
Para cada gate externo	
Marcação → 0	
Até que todas as transições tenham sido analisadas	

**ROTINA VERIFICASINALDESAIDA**

Propósito: Resetar os boxes de saída de sinal após a  
execução da rede.  
Parâmetros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura  
de boxes do grafo MFG.  
interface - ponteiro para a estru-  
tura de boxes de interface  
Parâmetros de saída:  
M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

Enquanto houver boxes a serem verificados			
Para cada possível sinal de saída			
Marcar existência de sinal de saída			
Não		A origem do sinal é "IN"	
Sim		Sim	
Não		Marcação = 0	Não
Sim		Sim	
Não		Marcação < N	Não
Sim		Sim	
Não		Há sinal de saída?	
Sim		Sim	
Atribuir marcação 0 ao IBOX correspondente		Atribuir marcação 1 ao IBOX correspondente	
Passar para o próximo box			

**ROTINA EXECUTAGRAFOMFG**

Propósito: Disparo das transições de uma malha MFG  
 Parâmetros de Entrada: boxes - ponteiro para a estrutura  
 de boxes do grafo MFG  
 trans - ponteiro para a estrutura  
 de transições do grafo MFG  
 Parâmetros de saída: 1 se houve mudança no estado do grafo;  
 0 caso contrário.  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Inicialização das transições
Tratamento dos boxes temporizados
Teste de habilitação para disparo, segundo a marcação dos boxes de entrada
Teste de habilitação para disparo, segundo a marcação dos boxes de saída
Teste de habilitação para disparo, segundo as condições das portas internas
Teste de disparabilidade, segundo as condições das portas externas
Teste de conflitos
Disparo das transições
Marcação dos boxes de interface associados a sinais de saída
Inicialização dos boxes de interface associados a sinais de entrada
Retornar flag de indicação de mudança de estado

**ROTINA IMPRIMEBOXES**

Propósito: Imprimir os dados referentes aos boxes  
 da malha MFG  
 Parâmetros de Entrada: boxes - ponteiro para estrutura  
 de boxes do grafo MFG  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Para cada box
Imprima na tela os dados do box (ID, condição associada, tipo, parâmetro N/T, marcação)

**ROTINA IMPRIMEINTERFACE**

Propósito: Controaracac dos ports do simulador  
 Parâmetros de Entrada: inputs - estrutura de interface  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara/C.T.Motohashi - EPUSP/PMC/IAS

\*/

Para cada box de interface
Imprima na tela os dados do box de interface (ID, tipo de interface, marcação, comando associado)



**ROTINA ARMAZENAEESTADO**

/\*  
Proposito: Armazena o estado correspondente a marcacao do grafo atual na estrutura de relatorios  
Parametros de Entrada: grafo - grafo em simulacao  
GrafState - estrutura de relatorios correspondente ao grafo  
Parametros de saida:  
M.Y.Kagchhara - EPUSP/PMC/LAS  
\*/

Para cada box	Incrementante o contador de ciclos do controlador em que o box esteve marcado
---------------	---

**ROTINA IMPRIMERELATORIO**

/\*  
Proposito: Geracao de relatorio em arquivo  
Parametros de Entrada: boxes - estrutura de boxes da malha MFG  
report - state counter do grafo  
relat - arquivo do relatorio  
Parametros de saida:  
M.Y.Kagchhara - EPUSP/PMC/LAS  
\*/

Abra o arquivo de relatorio para escrita	Para cada box	Grave no arquivo os dados do box para o relatorio (condição associada e instantes de atividade)	Feche o arquivo de relatorio
--	---------------	---	------------------------------

Mfg\_Msg.c

Descrição:	Rotinas e estruturas de dados de emissão de mensagens (para o usuário) do núcleo de controle.
Recursos Adicionais do Compilador C:	stdio.h (Rotinas Básicas de I/O)
Outros Módulos do Sistema:	"SC_Data.h" (Estruturas Básicas do Sistema)
Observações Gerais	Este módulo foi implementado com as definições de MIYAGI (1988)

**SINALIZACAO DOS TIPOS DE BOXES DO SISTEMA**

Definição do Tipo	Nome	Descrição
char *	DataType	Mensagens gerais
Varíavel	Nome	Comentários
char *	TipodeBox	Vetor com nomes dos tipos de boxes
		valor 0 = "Box tipo S"

valor 1 = "Box tipo M"  
 valor 2 = "Box tipo D"  
 valor 3 = "Box tipo G"  
 valor 4 = "Box tipo T"  
 valor 5 = "Box tipo U"  
 valor 6 = "Box tipo C"

**MENSAGENS DE STATUS**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
char *		Kernel	Vetor com mensagens de status do núcleo de controle

valor 0 = " "  
 valor 1 = "Carregando grato MFG",  
 valor 2 = "Grato MFG carregado com sucesso",

**MENSAGENS DE ERRO**

Variável	Tipo	Nome	Comentários
char *		KernelError	Vetor com mensagens de erro do núcleo de controle

valor 0 = " "  
 valor 1 = "Box não existente",  
 valor 2 = "Erro na carga do grato de simulação",  
 valor 3 = "Sistema sem alteração de estados por mais de 10 unidades de tempo",

**ROTINA NEWLINE**

Propósito: Impressão de uma linha vazia na tela  
 Parâmetros de Entrada:  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

Impressão de uma linha vazia na tela

**ROTINA KERNELMSG**

Propósito: Errossao de mensagens do nucleo de simulacao  
 Parâmetros de Entrada: ptr - código da mensagem  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

Imprime a mensagem armazenada na variável Kernel que corresponde ao parâmetro fornecido

**ROTINA KERNELERRMSG**

Descrição:	Rotinas necessárias para a interface com os drivers de comunicação com as máquinas da célula.
Recursos Adicionais do Compilador C:	<signal.h> Rotinas para manipulação de sinais do SO <stdio.h> Rotinas Básicas de I/O <stdlib.h> Rotinas para alocação dinâmica de memória <string.h> Rotinas para manipulação de strings
Outros Módulos do Sistema:	"Channel.h" Chamadas para tratamento de mensagens a nível de SO "pid.h" Dados necessários para a manipulação de PIDs Mfg_Data.h Estruturas de dados do MFG/FFS SC_Data.h Estruturas de dados básicas varsglob.h Variáveis do controlador
Observações Gerais	Este módulo foi implementado com as definições de MIYAGI (1988)

drvcomm.c

Para cada mensagem existente	Imprime a mensagem armazenada no parâmetro mensagens que corresponde ao parâmetro quantidade fornecido
------------------------------	--

-----  
 /\*  
 Propósito: Imprimir o tipo do box  
 Parâmetros de Entrada: mensagens - strings de mensagens  
 quantidade - quantidade de mensagens  
 Parâmetros de saída: nenhum  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS  
 \*/

### ROTINA NOTIFICAUSUARIO

Imprime a mensagem armazenada na variável TipoDeBox que corresponde ao parâmetro fornecido
--

-----  
 /\*  
 Propósito: Imprimir o tipo do box  
 Parâmetros de Entrada: type - numero do tipo do box  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS  
 \*/

### ROTINA SHOWBOXTYPE

Imprime a mensagem armazenada na variável KernelError que corresponde ao parâmetro fornecido
--

-----  
 /\*  
 Propósito: Emissão de erros do núcleo de simulação  
 Parâmetros de Entrada: ptr - código da mensagem  
 Parâmetros de saída:  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS  
 \*/

**DEFINIÇÕES DE CONSTANTES GERAIS**

Definição	Valor	Comentários
TAMANHO_DAS_MENSAGENS	30	número máximo de caracteres em uma descrição de elemento do MFG (box, transição ou box de interface)

**ROTINA INITESTADO**

Propósito: Inicializar os flags de modificacao de estado interno do controlador (estava no programa principal).  
 Parametros de Entrada: Nome Tipo Descrição  
 box BOX\* ponteiro para a estrutura de boxes  
 Parametros de Saída: Nome Tipo Descrição  
 mem MEM\* ponteiro para a estrutura de memoria de estados internos  
 Valor de retorno: Tipo Condiçao Associada  
 Nao ha'  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem  
 Nao ha'

Inicialização dos dados para execução do loop
Enquanto houver boxes a serem lidos
Copie os dados do box na estrutura de memória de dados de boxes
Passa para o próximo box

**ROTINA INITINTERFACE**

Propósito: Inicializar os flags de modificacao de estado da interface com os drivers de comunicacao (estava no programa principal).  
 Parametros de Entrada: Nome Tipo Descrição  
 Iobox IOBOX\* ponteiro para a estrutura de boxes de interface  
 Parametros de Saída: Nome Tipo Descrição  
 Iomem IOMEM\* ponteiro para a estrutura de memoria de estados da interface  
 Valor de retorno: Tipo Condiçao Associada  
 Nao ha'  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem  
 Nao ha'

Inicialização dos dados para execução do loop
Enquanto houver boxes de interface a serem lidos
Copie os dados do box de interface na estrutura de memória de dados de boxes de interface

**ROTINA REFRESHINTERFACE**

Propósito: Atualizar os flags de mudança de estado nos boxes de interface com a planta.

Parâmetros de Entrada:  
 Nome Tipo Descrição  
 Imem IOMEM\* Ponteiro para a estrutura de registro de mudança de estado da interface

Parâmetros de Saída:  
 Nome Tipo Descrição  
 nao ha' Valor de retorno: Condição Associada  
 nao ha' Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem  
 nao ha'

\*/

Inicialização dos dados para execução do loop	
Enquanto houver registros de memória de boxes a serem analisados	
Não	Verifique a mudança de estado
Sim	
Defina o flag de mudança de estado como FALSE	Defina o flag de mudança de estado como TRUE
Passe para o próximo registro	

**ROTINA REFRESHESTADO**

Propósito: Atualizar os flags de sinalização de mudança de estado.

Parâmetros de Entrada:  
 Nome Tipo Descrição  
 mem MEM\* Ponteiro para a estrutura de registro de mudança de estado

Parâmetros de Saída:  
 Nome Tipo Descrição  
 nao ha' Valor de retorno: Condição Associada  
 nao ha' Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem  
 nao ha'

\*/

Passe para o próximo box de interface
---------------------------------------

Inicialização dos dados para execução do loop	
Enquanto houver registros de memória de interface a serem analisados	
Verifique a mudança de estado	
Não	Sim
Defina o flag de mudança de estado como FALSE	Defina o flag de mudança de estado como TRUE
Passe para o próximo registro	

Propósito: Imprimir os dados referentes aos boxes MFG do grato de controle, quando ha mudança de estado.

Parâmetros de Entrada: Nome Tipo Descrição  
 memory MEM\* Ponteiro para a estrutura de mudança de estado.

Parâmetros de Saída: Nome Tipo Descrição

Valor de retorno: Tipo Condição Associada

Não ha Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem

**ROTINA MONITORABOXES**

/\*

Inicialização dos dados para execução do loop	
Enquanto houver registros de memória de boxes a serem verificados	
Verifique a mudança de estado	
Não	Sim
Imprima os dados do box (tipo e estado)	Passe para o próximo registro

Propósito: Monitoração da interface com a célula, quando ha modificação de estado.

Parâmetros de Entrada: Nome Tipo Descrição  
 Memory IOMEM\* Ponteiro para a estrutura de registro de mudança de estado.

Parâmetros de Saída: Nome Tipo Descrição

Valor de retorno: Tipo Condição Associada

Não ha Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem

**ROTINA MONITORINTERFACE**

/\*

Inicialização dos dados para execução do loop	
Enquanto houver registros de memória de boxes de interface a serem verificados	
Verifique a mudança de estado	
Não	Imprima os dados do box de interface (tipo e estado)
Sim	
Passe para o próximo registro	

**ROTINA INICIALIZACANAL**

Propósito: Inicializacao de um canal de comunicacao entre o controlador e um driver de comunicacao.

Parametros de Entrada:  
 Nome Tipo  
 arquivo string nome do arquivo a ser associado ao canal de comunicacao  
 Flags int  
 Parametros de Saída:  
 Nome Tipo  
 canal int\* descritor do canal de comunicacao  
 Valor de retorno:  
 Tipo Conditcao Associada  
 int 0 caso a criacao tenha sido bem sucedida; -1 caso contrario.  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem  
 tok libca (Standard C Library)  
 msgget libca (Standard C Library)

Gerção da chave para o canal de comunicação	
Foi gerada uma chave válida?	
Não	Obtenção do ID da fila de mensagens do canal
Sim	
Acerto dos flags de retorno da rotina	
InicializaCanal	
Acerto dos flags de retorno da rotina	
InicializaCanal	

**ROTINA RECEBEMENSAGEM**

Propósito: Receber uma mensagem do driver de comunicacao, no formato de uma string.

Parametros de Entrada:  
 Nome Tipo  
 Parametros de Saída:  
 Nome Tipo  
 Valor de retorno:  
 Tipo Conditcao Associada  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem  
 msgrcv libca (Standard C Library)

Criação da estrutura de mensagens	
Inicialização dos parâmetros da recepção de mensagens	
Suspensão do sinal	
Recepção da mensagem	
Não Mensagem recebida com sucesso?	
Sinalização de erro na recepção da mensagem	
Tratamento da mensagem	
Envia sinal para outro processo	

**ROTINA INTERPRETAMENSAGEM**

Propósito: Interpretar uma mensagem da célula e no formato de um comando com parâmetro

OBS: Marcia Fumle Tsugawa

Parâmetros de Entrada:

Nome Tipo Descrição

Mens char\* mensagem a ser convertida

Parâmetros de Saída:

Nome Tipo

comando int

parâmetro int

Valor de retorno:

Tipo Condição Associada

int -1 em caso de erro, 0 caso contrário

Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem

atoi lib.c.a (Standard C Library)

strlen lib.c.a (Standard C Library)

\*/

Determinar a máquina de origem da mensagem	
Isolar o comando em uma string separada	
Converter a string de comando para inteiro	
Não O comando é válido?	
Sim	
Isolar o parâmetro em uma string separada	
Converter a string de parâmetro para inteiro	
Não O parâmetro é válido?	
Sim	
Indicar comando inválido	
Indicar parâmetro inválido	
Retornar o indicador de validade de comando E parâmetro	

**ROTINA CARREGAIOBOX**

Propósito: Dado um comando e um parâmetro, esta rotina encontra o box de interface correspondente e atualiza sua marcação.

\*/



Parametros de Entrada:  
 Nome Tipo Descricao  
 Parametros de Saida:  
 Nome Tipo Descricao  
 Valor de retorno:  
 Tipo Condicao Associada  
 Nao ha'  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem  
 Nao ha'

\*/

Inicializar dados de processamento do loop	
É um box de sinal de entrada E a máquina corresponde à indicada E o comando corresponde ao especificado E o parâmetro corresponde ao especificado?	Não
	Sim
Passe para o próximo elemento de interface indique que o box de interface correto foi encontrado	
Enquanto o box de interface correto não for encontrado OU houver boxes de interface a serem verificados	
O box de interface correto foi encontrado?	
Não	Sim
Indique erro no sinal da interface	
Atribua o parâmetro fornecido ao box de interface	
Atribua o parâmetro fornecido ao box de interface	

ROTINA LECANAL

Proposito: Leitura do canal de comunicacao, no inicio de cada loop de processamento, se algum dos drivers de comunicacao tiver sinalizado o envio de alguma mensagem.  
 OBS:Esta rotina deve ser chamada no tratamento dos sinais vindos dos drivers de comunicacao.  
 Parametros de Entrada:  
 Nome Tipo Descricao  
 mqID int  
 Parametros de Saida:  
 Nome Tipo Descricao  
 IOBOX\*  
 Interf Estrutura de interface do programa de controle  
 Valor de retorno:  
 Tipo Condicao Associada  
 int 0 caso a leitura tenha sido bem sucedida; -1 caso contrario.  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem  
 msgctl libc.a (Standard C Library)  
 RecebeMensagem drvcomm.c  
 InterpretMensagem drvcomm.c

\*/

Inicialização		Criação do descriptor da fila de mensagens		Verificação do estado da fila de mensagens		A verificação foi bem-sucedida?		Não	
Indique erro de leitura da fila de mensagens		Retire a mensagem da fila		Para todas as mensagens na fila		Indique erro de leitura da mensagem?		Sim	
Indique erro de leitura da mensagem		Interprete a mensagem		Erro na interpretação?		Indique erro de interpretação da mensagem		Não	
		Carregue a mensagem no I/O BOX correspondente		Erro no carregamento?		Indique erro de carregamento das informações no box de interface correspondente		Sim	
Indique que a mensagem já foi lida		Retorne a condição de erro de leitura da fila E erro de recepção de mensagem E interpretação de mensagem E erro de carregamento das informações no box de interface correspondente							

**ROTINA COMPOEMENSAGEM**

Propósito: Compositao da string com os dados do comando a ser enviado para a celula e do seu parametro.  
 Parametros de Entrada: Nome, Tipo, Descricao  
 Parametros de Saida: Nome, Tipo, Descricao  
 Valor de retorno: Tipo, Condicao Associada  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Modulo de Origem: Nao ha'

**ROTINA ENVIAMENSAGEM**

Propósito: Envio de uma string para um determinado canal de comunicacao.  
 Parametros de Entrada:

Inicialização das strings
Conversão do comando para string
Conversão do parâmetro para string
Montagem da string de comando para a planta

Criação da estrutura de mensagem	
Inicialização dos parâmetros do envio de mensagem	
Envio da mensagem	
A mensagem foi enviada com sucesso?	
Não	Sim
Indicar falha no envio da mensagem	
Envia sinal para driver correspondente	

Nome Tipo Descrição  
 Parâmetros de Saída: Tipo Descrição  
 Nome Tipo Descrição  
 Valor de retorno: Tipo Descrição  
 Condição Associada  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem  
 Não há' /

**ROTINA ESCREVECANAL**

/\* -----  
 Propósito: Envia um comando e seu parâmetro para o canal de comunicação especificado.  
 Parâmetros de Entrada: Nome Tipo Descrição  
 Parâmetros de Saída: Nome Tipo Descrição  
 Valor de retorno: Tipo Descrição  
 Condição Associada  
 int 0 caso a mensagem seja enviada com sucesso;  
 -1 caso contrário.  
 Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem  
 ComposeMensagem drvcomm.c  
 EnviaMensagem drvcomm.c  
 ----- \*/

Composição da mensagem
Envio da mensagem para o canal da máquina associada
Sinaliza ao processo associado o envio da mensagem

processo.c

Descrição:	Rotinas para manipulação de PIDs
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h> Rotinas Básicas de I/O <stdlib.h> Rotinas para alocação dinâmica de memória
Outros Módulos do Sistema:	pid.h Dados necessários para a manipulação de PIDs
Observações Gerais	Rotinas específicas do SO AIX

**ROTINA GERA\_PID**

Finalidade : gravar PID em arquivo  
 Parâmetros : char nomearg - nome do arquivo que contém PID  
 Retorno :  
 pid\_t PID - PID lido do arquivo nomearg  
 -1 - Falha na leitura do PID  
 Responsável : Julio Arakaki

Obter o PID	
Erro na abertura do arquivo?	
Não	Sim
Escrever o PID no arquivo correspondente	
Emitir mensagem de erro	

**ROTINA PEGA\_PID**

Finalidade : Ler o PID armazenado em arquivo  
 Parâmetros : char nomearg - nome do arquivo que contém PID  
 Retorno :  
 pid\_t PID - PID lido do arquivo nomearg  
 -1 - Falha na leitura do PID  
 Responsável : Julio Arakaki

O arquivo do PID existe?	
Não	Sim
Emitir mensagem de erro	
Pega Processo ID	
Atribuir valor -1 ao PID	

**ROTINA OBTMPID**

Finalidade : Obter todos os PID (garante que todos os processos foram executados)  
 Parâmetros :  
 Retorno :  
 Responsável : Julio Arakaki

Para cada posição no vetor de PIDs	
Pega PID no arquivo correspondente	
Enquanto não houver PID	

SC\_Utilis.c

Descrição:	Rotinas utilitárias do sistema de controle.	
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h> <stdlib.h> <ctype.h> <string.h>	Rotinas Básicas de I/O Rotinas para alocação dinâmica de memória Rotinas para tratamento de caracteres Rotinas para tratamento de strings
Outros Módulos do Sistema:	"SC_Data.h"	Estruturas básicas do sistema
Observações Gerais	Por se tratar de rotinas utilitárias, consideradas básicas em muitos compiladores, serão incluídos aqui apenas seus cabeçalhos.	

**ROTINA FILEXISTS**

Propósito: Verificação de existência de arquivos.  
 Parâmetros de Entrada: fila - nome do arquivo a ser verificado;  
 Parâmetros de saída: TRUE se o arquivo existe e pode ser lido;  
 FALSE caso contrário.  
 M.Y.Kagohara - EPUSP/PMC/LAS

\*/

**ROTINA LONGTOASCII**

Propósito: Conversão de um número long integer para string;  
 Implementada para Unix devido a não existência  
 da função ltoa no compilador C da RISC 6000.

Parâmetros de Entrada:

Nome Tipo Descrição

Valor long número a ser convertido

Parâmetros de Saída:

Nome Tipo Descrição

plv char\* String resultante da conversão

Valor de retorno: Tipo

Condição Associada

Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem

Não há

\*/

**ROTINA INTOASCII**

Propósito: Conversão de um número inteiro para string;  
 Implementada para Unix devido a não existência  
 da função itoa no compilador C da RISC 6000.

Parâmetros de Entrada:

Nome Tipo Descrição

Valor int número a ser convertido

Parâmetros de Saída:

Nome Tipo Descrição

string char\* String resultante da conversão

Valor de retorno: Tipo

Condição Associada

Outras Rotinas Utilizadas/ Módulo de Origem

Não há

\*/

**A2.3 Documentação dos Drivers de Comunicação**

drv1.c

Descrição:	Driver de comunicação entre PC e o Controlador de célula (RISC). Recebe dados da TTY (ve_port) e coloca no protocolo (ADLP 10)
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h> Rotinas Básicas de I/O <sys/types.h> Para comunicação entre processos <sys/ipc.h> Para comunicação entre processos <errno.h> <sys/mode.h> <signal.h>
Outros Módulos do Sistema:	"msg1.h" Específico p/ AIX "so_risc.h" Específico p/ AIX "pid.h" Declaração da estrutura_PID "processo.h" Decl. funções para manipulação de PID
Observações Gerais	

Definição	Valor	Comentários
RBAUD	9600	Configura taxa de transmissão
PTTY	1	Configura porta (pode ser de 0 a 8)

**ROTINA LE\_CARAC**

Finalidade : Le caractere vindo do programa ve\_port e transfere ao protocolo  
 Parametros :  
 Retorno :  
 Responsavel : Julio Arakaki

Lê elemento da fila de mensagens		
Leitura bem-sucedida?	Sim	
Ha elemento na fila?	Sim	
Emitir mensagem de falha	Não	
Envia caractere para protocolo		Envia sinal para outro processo

**ROTINA NADA**

**Observação:** Para o tratamento do segundo sinal do sistema que pode ser utilizado na troca de mensagens, é necessário fornecer **sempre** um ponteiro para uma rotina de tratamento. Como o sinal não está sendo utilizado neste software, foi definida uma rotina que não executa nenhum processamento.

**ROTINA RECC**

Finalidade : Le mensagem do controlador e transfere ao protocolo  
Ativado via interrupcao (Signal SIGPRE)  
Parametros :  
Retorno :  
Responsavel : Julio Arakaki

/\*

Lê elemento da fila de mensCCR2			
Não	Leitura bem-sucedida?		
Sim			
Emitir mensagem de falha		Não	
Sim	Ha elemento na fila?		
	Envia caractere para protocolo		
	Envia sinal para outro processo		

**PROGRAMA PRINCIPAL**

Gera ID processo
Espera todos os processos serem executados
Inicializa protocolo
Prepara para receber sinais do sistema operacional associados à troca de mensagens
Cria fila1 para comunicação com o programa de transmissão e recepção de dados pela porta serial
Cria fila2 para comunicação com controlador (Transmissão)
Cria fila3 para comunicação com controlador (Recepção)
Loop infinito de verificação da FILA (o processamento será realizado com a chegada dos sinais de ativação das trocas de mensagens entre o controlador e o programa de transmissão e recepção de dados através da porta serial)

veporta.c

Descrição:	Programa de transmissão e recepção de dados pela porta serial
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h> Rotinas Básicas de I/O <stdlib.h> <fcntl.h> Definições para configuração da porta serial <termio.h> Definições para configuração da porta serial <termios.h> Definições para configuração da porta serial <sys/types.h> Para comunicação entre processos <stdio.h> Para comunicação entre processos <sys/ipc.h> Para comunicação entre processos <sys/msg.h> Para comunicação entre processos <errno.h> Para comunicação entre processos <sys/mode.h> Para comunicação entre processos <signal.h> Para comunicação entre processos
Outros Módulos do Sistema:	"processo.h" Decl. funções para manipulação de PID
Observações Gerais	

**PROGRAMA PRINCIPAL**

Prepara para receber sinal para troca de mensagens	Configura tty		
Pega ID Processo	Configura Fila de mensagens		
Loop de verificação da porta serial	Faz leitura da tty		
Emitir mensagem de erro	Emitir mensagem de erro	Não	Leitura bem-sucedida?
		Sim	
Emitir mensagem de erro	Emitir mensagem de erro	Não	Envia Mensagem para a fila
		Sim	Envio bem-sucedido?
Emitir mensagem de erro	Emitir mensagem de erro	Não	Envia sinal para outro processo
		Sim	Envio bem-sucedido?



**A2.4 Documentação do Software do Coletor de Dados**

**CELULA.C**

Descrição:	Rotinas utilizadas no programa INTCEL (interface entre o controlador de célula e as máquinas CNC).
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h> <dos.h> <string.h> <stdlib.h> <io.h> <fontl.h>
Outros Módulos do Sistema:	"tela.h" Rotinas para apresentação de dados no console "outil.h" Rotinas para apresentação de dados no console "célula.h" Definição de dados e funções "aplic.h"
Observações Gerais	Compilador usado: Borland C++ 3.1 (plataforma DOS)

**ROTINA EXIBE\_MENS**

```

/*****
*
* FINALIDADE: Exibe a mensagem correspondente ao código na tela.
*
* PARAMETROS DE ENTRADA: int código; int parametro
*
* FUNCOES ACIONADAS: printf (tela.c)
*
* OBSERVACOES:
*
*/

```

Mensagens definidas para cada código:

- 0 "Inicie programa numero %d"
- 1 "Mensagem para o operador - %d"
- 2 "Carregue programa numero %d na maquina."
- 3 "Grave programa numero %d da maquina."
- 4 "Início de envio do programa numero %d."
- 5 "Digite o nome do arquivo."
- 6 "Programa numero %d finalizado."
- 7 "Falha numero %d."
- 8 "Status - %d"
- 9 "Requisicao do programa numero %d."
- 10 "Mensagem recebida!"

O parâmetro recebe 0	Retira essa tecla do buffer e atribui ao parâmetro
Não	Sim
Existe uma tecla no buffer de teclado?	

```

/
*****
*
* OBSERVACOES:
*
* FUNCOES ACIONADAS: lookkey (lookkey (toupper.c)); getkey (toupper.c)
*
* PARAMETROS DE ENTRADA: int *t
*
* senao, atribui zero a variavel de entrada.
*
* se sim, atribui o scan code da tecla a variavel de entrada;
*
* FINALIDADE: Verifica (no buffer do teclado) se foi pressionada alguma tecla;
*
*
*
/*****

```

**ROTINA PROX\_TECLEA**

```

/*****
*
* do Borland C++ 3.0 para apresentação de strings na tela
*
* OBSERVACOES: Rotina para o console do PC, composta de comandos especificos
*
* FUNCOES ACIONADAS: scrinf (tela.c)
*
* PARAMETROS DE ENTRADA:
*
* a todas as mensagens definidas na comunicacao com o controlador
*
* de celula.
*
* FINALIDADE: Exibe o conteúdo da janela Help (tabela com o numero
*
* correspondente
*
*
/*****

```

**ROTINA TAB\_MENS**

```

/*****
*
* do Borland C++ 3.0 para apresentação de strings na tela
*
* OBSERVACOES: Rotina para o console do PC, composta de comandos especificos
*
* FUNCOES ACIONADAS: putstrabs (tela.c)
*
* PARAMETROS DE ENTRADA:
*
* este aplicativo.
*
* FINALIDADE: Imprime na ultima linha da tela os hotkeys definidos para
*
*
/*****

```

**ROTINA HOTKEYS**

Envia a mensagem	
Incrementa contador de tentativas	
Enquanto não conseguir enviar E o contador for menor que o número máximo de tentativas	
O contador atingiu o máximo de tentativas?	
Sim	Não
Exibe mensagem de erro de transmissão	

```

/
*****
*
* OBSERVACOES:
*
* FUNCOES ACIONADAS: send_msg (aplic.c): selectwindow (popup.c):
* scripntf (tela.c)
*
* PARAMETROS DE ENTRADA: unsigned char *msg; int tam_msg; wptr wp
*
* relativa ao ponteiro wp.
*
* FINALIDADE: Tenta enviar uma mensagem (protocolo ADLP 10) ate' no maximo
* MAX_TENT. Se nao conseguir, exibe a mensagem de falha na janela
*
/*****
ROTINA TRANSMITE
/

```

```

/
*****
*
* OBSERVACOES:
*
* FUNCOES ACIONADAS:
*
* PARAMETROS DE ENTRADA:
*
* para a maquina CNC.
*
* FINALIDADE: Configura o canal serial COM2 para transmissao de programa em G
*
/*****
ROTINA CONFIG_COM2
/

```

```

/
*****
*
* OBSERVACOES:
*
* FUNCOES ACIONADAS:
*
* PARAMETROS DE ENTRADA: char *msg; int tam
*
* Atribui valor NULL a string msg de tamanho tam.
*
/*****
ROTINA LIMPA
/

```

Descrição:	Interface entre o controlador de célula e o computador associado à máquina CNC
Recursos Adicionais do Compilador C:	<stdio.h> <dos.h> <string.h> <stdlib.h> <io.h> <fcntl.h>
Outros Módulos do Sistema:	"tela.h" Rotinas para apresentação de dados no console "foutil.h" Rotinas para apresentação de dados no console "celda.h" Definição de dados e funções "aplic.h"
Observações Gerais	Compilador usado: Borland C++ 3.1 (plataforma DOS) COM1 setado para comunicação com a estação (Baud 1200, paridade 1, paridade par, stop bit 2) COM2 setado para comunicação com a máquina CNC (Baud 1200, paridade par, stop bit 2)

INTCEL.C

**PROGRAMA PRINCIPAL**

inicializa interface			
exibe hotkeys na ultima linha da tela			
configura COM2 para transmissão de arquivo para a maquina CNC			
cria janelas para a exibição das mensagens			
prepara para a recepção de mensagens			
inicia comunicação			
comunicação iniciada com êxito?		Sim	
Execute enquanto a tecla for diferente de 'Quit'			
Pega mensagem do buffer de recepção			
Há mensagem E tecla <> F3 (QUIT)?		Sim	
determina qual o comando e parâmetro			
0 ≤ comando ≤ 4?		Sim	
solicita ao operador para pressionar uma tecla			
até que o operador pressione uma tecla			
apresentação da mensagem para o operador			
comando = 4?		Sim	
efetuar recepção de programa			
verifique a tecla pressionada pelo operador da célula			
F1	Help	F2	Fim de programa
F2	Mensagem de falha	F3	Mensagem de status
F3	Mensagem de status	F4	Requisição de programa
F4	Requisição de programa	F5	Envio de programa para a máquina-ferramenta
F5	Envio de programa para a máquina-ferramenta	F6	mensagem da recepção de próxima verifique a
F6	mensagem da recepção de próxima verifique a	F7	senão
restaura a configuração padrão do computador			
encerra comunicação			

## **A2.5 Scripts Auxiliares do Controlador**

criam

Script do AIX para criação das janelas e para disparar a execução de todos os processos chamadas a comandos do shell para abertura de uma janela na GUI do AIX.

rodos

Script do AIX para encerrar a execução de todos os processos relativos ao controlador da célula e seus drivers de comunicação com a planta.

### **Anexo 3. Programa de Controle Utilizado nos Testes do Controlador da Célula Integrada de Manufatura**

Conforme descrito no capítulo 4, um dos programas de controle utilizado nos testes do controlador consiste de:

- ❖ Colocação da peça no torno (colocação da peça em bruto e fechamento da porta do torno)
- ❖ Usinagem no torno
- ❖ Retirada da peça do torno (abertura da porta do torno e retirada da peça usinada)

Para a realização destes processos, o robô tem armazenados na sua memória programas

para:

- ❖ Colocação da peça no torno
- ❖ Fechamento da porta do torno
- ❖ Abertura da porta do torno
- ❖ Retirada da peça do torno

O programa considerou que no início do ciclo a porta do torno estava aberta. dessa forma, a sequência de operações é dada por:

1. Colocação da peça no torno
2. Fechamento da porta do torno
3. Usinagem no torno
4. Abertura da porta do torno

5. Retirada da peça do torno

A Figura A3.1 mostra o grafo PFS/MFG correspondente a essas alterações. Os dados relativos a esse grafo estão listados logo após o grafo.

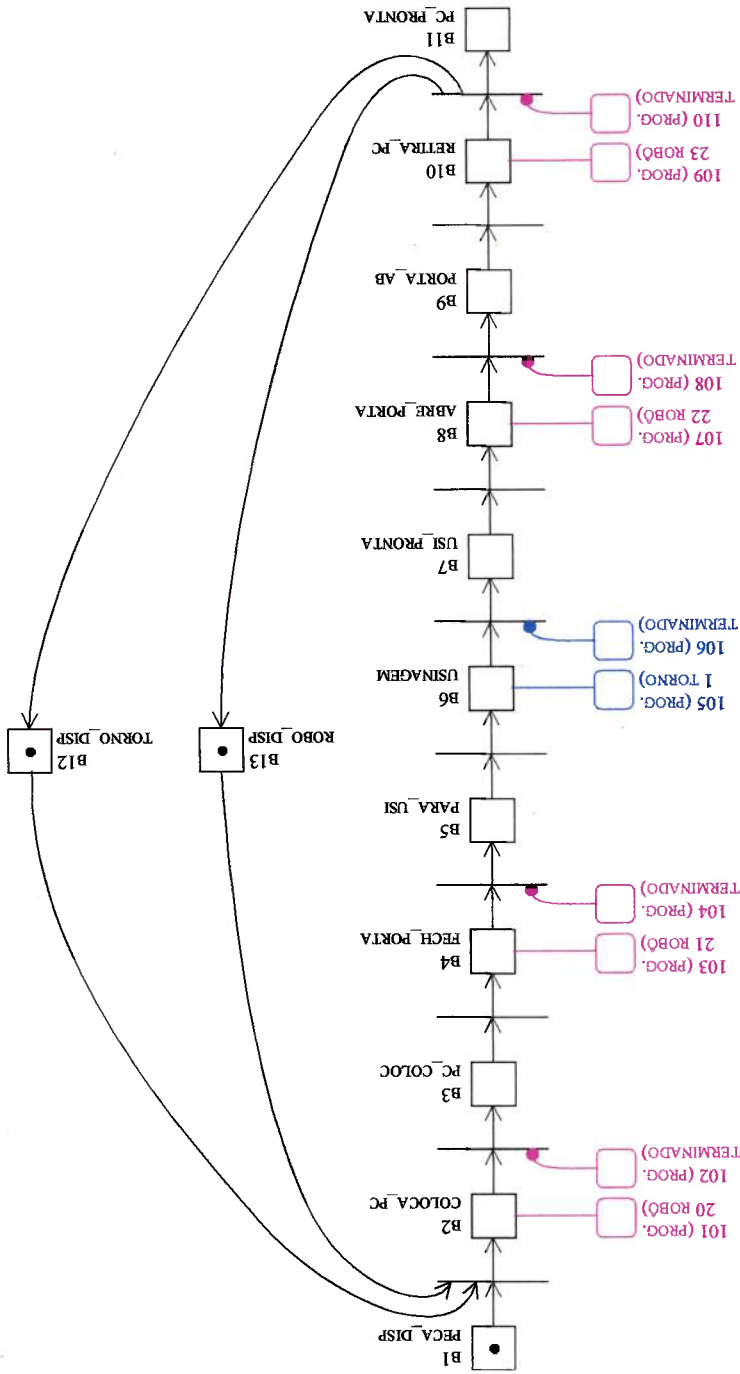


Figura A3.1 Representação gráfica do programa TESTE1.MFG



TESTE1.MFG

pc_pronta	0 1 0	1 3
peca_disp	0 1 1	1 3 trans3
0 2	0 12	0 0
coloca_pc	0 1 1	1 3
0 1 0	0	1 4
101 0	0 13	1 4 trans4
0 3	0 1 1	0 0
pc_coloc	0	1 5
0 1 0	2 101 1	2 4 12
0 4	0 0 20	0 104
tech_porta	2 102 0	1 5 trans
0 1 0	0 4 20	0 0
103 0	2 103 1	1 6
0 5	0 0 21	1 6 trans6
para_usi	2 104 0	1 1
0 1 0	0 4 21	0 106
0 6	2 105 1	1 7
usinagem	2 106 0	1 7 trans7
0 1 0	2 4 1	0 0
105 0	2 107 1	2 7 12
0 7	0 0 22	1 8 trans8
usi_pronta	2 108 0	0 1
0 1 0	0 4 22	0 108
0 8	2 109 1	1 9
abre_porta	0 0 23	1 9 trans9
0 1 0	2 110 0	0 0
107 0	0 4 23	0 0
0 9	1 1 trans1	1 10
porta_ab	0 0	1 10 trans10
0 1 0	3 1 12 13	0 0
0 10	1 2	1 1
retira_pc	1 2 trans2	0 110
0 1 0	1	1 10
109 0	0 102	3 11 12 13
0 11	1 2	

## Referências Bibliográficas

- ARAKAKI, J. Análise de Sistemas de Manufatura Através da Metodologia MFG/PFS e Regras de Produção. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ARATA, W. M. Análise Quantitativa de Sistemas de Manufatura: Abordagem baseada em redes GSPN ("Generalized Stochastic Petri Nets"). São Paulo, 1994. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ASEA. Robô IRB-6: Manual de Operação.
- BARFIELD, W.; HWANG, S. L.; CHANG, T. C. Human-computer Supervisory Performance in the Operation and Control of Flexible Manufacturing Systems. Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies – A. Kusniak, 1986, p. 377-408.
- CAMARINHA-MATOS, L. M.; AFSARMANESH, H. (eds). Balanced Automation Systems - Architectures and Design Methods. Chapman & Hall, London, 1995.
- CAMARINHA-MATOS, L. M.; AFSARMANESH, H. (eds). Balanced Automation Systems II - Implementation Challenges for Antropocentric Manufacturing. Chapman & Hall, London, 1996.
- CAO, X.R.; HO, Y.C. Models of Discrete Event Dynamics Systems. IEEE Control Systems Magazine. v. 10, n° 10, p. 69-76, 1990.
- CASSANDRAS, C.G.; RAMADGE, R.J. Towards a Control Theory for Discrete Event Systems. IEEE Control Systems Magazine. v. 10, n° 4, p. 66-68, 1990.
- CHARAMONTE, M. J. Aplicação do Observador de Distúrbios de Torque no Robô Móvel Ariel. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CHWIF, L. Metodologia para Auxiliar o Planejamento do Arranjo Físico em Indústrias de Manufatura: Base para Sistemas Computadorizados. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- COOLEY, M.; CRAPMTON, S. Criteria for Human-Centered Systems. ESPRIT CIM – B Hirsch & M. Actis Dato (Ed). Elsevier Science Publishers B. V. (North Holland), 1987, p. 117-122.
- COZMAN, F. G. Controlador de Trajetória para o Robô Móvel Ariel – Solução de Controle Ótimo. São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- DERRICK, F.W.; DESAI, H.B.; O'BRIEN, W.R. Survey Shows Employees at Different Organizational Levels Define Quality Differently. Industrial Engineering. Abril 1989, p. 22-27.

- GARVIN, D.A. Competing on the Eight Dimensions of Quality. Harvard Management Review. Nov/dez 1987, p. 101-109.
- GARVIN, D.A. What Does 'Product Quality' Mean? Sloan Management Review. Outono 1984, p. 25-43.
- GROOVER, M. P.; ZIMMERS JR. E. W. CAD/CAM - Computer Aided Design and Manufacturing. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
- HASEGAWA, K. et al. Proposal of MFG for Discrete System Control. Transactions of SICE. v. 20, n° 2, p. 122-129, Tóquio, 1984.
- HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, K. MFG Representation for Functional Modules of Discrete Production System. Proceedings of XI SICE System Symposium. p. 273-278, Japão, 1985.
- HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, K.; MASUDA, R.; TANGE, K.; SUZUKI, T. Simulation of Discrete Production System Based on MFG. System Science. v. 13 n° 1-2, Poland, 1987.
- HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, K.; MIYAGI, P.E. Application of the Mark Flow Graph to Represent Discrete Event Production Systems and System Control. Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers. v. 24, n° 1, p. 69-75, 1988.
- HO, Y.C. Dynamics of Discrete Event Dynamic Systems. Proceedings of IEEE. v. 77, n° 1, p. 3-6, 1989.
- ITO, S.; NAKAYAMA, Y.; MIZUTANI, H. Model-Based Explanation of Specifications for Sequential Control. Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers. v. 32 n° 6, p. 938-947, 1996 (in Japanese).
- JURAN, J.M.; GRYNNA JR., F.M. Quality Planning and Analysis, 2nd ed., New York: Mc-Graw-Hill, 1980.
- KAGOHARA, M. Y., BARRETTO, M. R. P.; MIYAGI, P. E. Sistema Didático de Tecnologia de Grupo. Anais do CONAI 92 - 5º Congresso Nacional de Automação Industrial/1º Congresso Internacional de Automação. p. 187-196, São Paulo, Brasil, 1992.
- KAGOHARA, M. Y.; TOLEDO, C. F. M.; MIYAGI, P. E.; SILVA, J. R. Automatic Generation of Control Programs for Manufacturing Cells. IFIP Transactions on Production Management Methods. Elsevier Science, BV-North Holland, Amsterdam (Netherlands), v. B, n° 19, p. 335-343, 1994.
- KAGOHARA, M. Y., MIYAGI, P. E. Simulador de Célula Flexível de Manufatura. Trabalho de formatura. São Paulo, 1992. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

KAGOHARA, M.Y.; MOTOHASHI, C.T.; MIYAGI, P.E.; SILVA, J.R. Control Programs Generator for Manufacturing Cells. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Automática/6º Congresso Latino-Americano de Controle Automático. v. 1, p. 124-126, Rio de Janeiro, 1994.

KEOGH, J. P. Advanced Production Control Systems. *ESPRIT CIM* - B. Hirsch & M. Actis Dato (Ed.). Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland), 1987, p. 221-234.

KOVACS, I.; MONIZ, A. B. Issues on the anthropocentric production systems. *Balanced Automation Systems - Architectures and design methods*. p. 131-140. Camarinha-Matos, L. M. e Afsarmanesh, H. (Ed.), Grã-Bretanha, 1995.

LIU, W. Aplicação da Metodologia MFG/PFS no Desenvolvimento de Sistemas de Informações de Indústrias de Manufatura. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MASUDA, T. A Study on Modeling and Simulation of Kanban Method Production Systems based on Mark Flow Graph. Tóquio, Japão, 1988. Dissertação (Mestrado) - Tokyo Institute of Technology (in Japanese).

MATSUSAKI, C. T. M. Redes F-MFG (Functional Mark Flow Graph) e sua Aplicação no Projeto de Sistemas Antropocêntricos. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MAZAK: Torno DNC QT-8: Manual de Operação.

MIYAGI, P. E. Control System Design, Programming and Implementation for Discrete Event Production System by Using Mark Flow Graph. Tóquio, Japão, 1988. Tese (Doutorado) - Tokyo Institute of Technology.

MIYAGI, P. E. Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. Editora Edgar Blücher, São Paulo, Brasil, 1996.

MIYAGI, P. E.; HASEGAWA, K.; TAKAHASHI, K.; ARATA, W. M.; ARAKAKI, J.; SANTOS F., D. J.; SILVA, J. R. Modelagem e Análise de Sistemas Complexos com Recursos Compartilhados Através do PFS (Production Flow Schema). Anais do XI Congresso Brasileiro de Automática, SBA, Uberlândia, 1998.

MIYAGI, P. E.; MOTOHASHI, C. T.; KAGOHARA, M. Y. Metodologia de Projeto de Sistemas de Controle de Sistemas Automatizados de Fabricação. Anais do I Simposio Brasileiro de Automação Inteligente. p. 483-490, Rio Claro, 1993.

MIYAGI, P. E.; YUHARA, C.J.; HAYASHI, S.Y.; SANTOS F., D.J. Ferramenta para Projeto e Análise de Sistemas Integrados de Manufatura. Anais do IV Congresso Nacional de Automação Industrial. p. 174-183, São Paulo, 1990.

MONNERAT, N. L. P. M. Análise da Propriedade Distância Sincrona na Rede Ghensys. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- MONTVECCHI, J. A. B. Contribuição para Identificação de Similaridades Entre Peças - Abordagem Baseada na Lógica Fuzzy em Sistemas de Apoio Computadorizados. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MOTOHASHI, C. T.; KAGOHARA, M. Y.; MIYAGI, P. E.; BARRETTTO, M. R. P. Ambiente Integrado de Controle de Célula de Fabricação com Utilização da Metodologia MFG/PFS, Anais do CONAL, 1994.
- MOTOHASHI, C. T.; KAGOHARA, M. Y.; MIYAGI, P. E.; BARRETTTO, M. R. P. Controle Integrado de Célula de Fabricação com Utilização da Metodologia MFG/PFS. Revista da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, setembro 1994.
- MURATA, T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE. v. 77, nº 4, p. 541-580, 1989.
- NAGAO, Y.; OHTA, H.; URABE, H.; NAKANO, S.; KUMAGAI, Net-Based Cooperative Control for Autonomous Distributed Systems. Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers. v. 32 nº 6, p. 967-974, 1996 (in Japanese).
- PELLICER, J. E.; CARELLI, R.: Coordination Control of Discrete Event Systems Using Petri Nets. Balanced Automation Systems II - Implementation challenges for anthropocentric manufacturing. p. 519-529. Camarinha-Matos, L. M. e Afsarmanesh, H. (ed.), Gra-Brethanha, 1997.
- PETERSON, J.L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems. Prentice-Hall, N.J., 1981.
- PRIMROSE, P. L.; LEONARD, R. Conditions under which Flexible Manufacturing is Financially Viable. Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies - A. Kuslak, 1986, p. 355-366.
- REISIG, W. A Primer in Petri Net Design. Springer Verlag, Berlin, 1992.
- REISIG, W. Petri Nets, an Introduction. EATCS, Monographs on Theoretical Computer Science. Brauer, W.; Rozenberg, G.; Salomaa, A. (eds.), Springer Verlag, Berlin, 1985.
- RIASCOS, L. A. M. Modelagem do Tratamento de Falhas em Sistemas de Manufatura Através de Redes de Petri. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ROBOTICS TOWARDS 2000, 1996. Proceedings of 27th International Symposium on Industrial Robots "Robotics Towards 2000", 6-8/10/1996, Milão, Itália.
- SAKAKIBARA, M.; MATSUMOTO, K. Approach to CIM in Nippondenso Kota Plant. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. v. 4, nº 5, p. 279-287, 1991.

- SANTOS F., D. J. Controle de Sistemas Antropocêntricos de Produção Baseado em Redes de Petri Interpretadas. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SANTOS F., D. J. Proposta do Mark Flow Graph Estendido para a Modelagem e Controle de Sistemas Integrados de Manufatura. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SEQUEIRA, J. H. Manufatura de Classe Mundial no Brasil - Um Estudo da Posição Competitiva. Divisão de Publicações da Câmara Americana de Comércio, São Paulo, 1990.
- SILVA, J. R.; MIYAGI, P. E.; PFS/MFG: A High Level Net for the Modeling of Discrete Manufacturing Systems. *Balanced Automation Systems - Architectures and design methods*, p. 349-362. Camarinha-Matos, L. M. e Afsarmanesh, H. (eds), Grã-Bretanha, 1995.
- SONG, S. W. Análise de Invariantes na Rede de Petri Ghensys. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- STADZISZ, P. C.: Especificação de um Ambiente Computacional para Auxílio ao Projeto do Arranjo Físico de Sistemas Flexíveis de Manufatura. Curitiba, 1990. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR).
- TEICHOLZ, E.; ORR, J. N. *Computer Integrated Manufacturing Handbook*. McGraw-Hill Book Company, EUA, 1987.
- VENKATESH, K.; AZHOU, M. C.; CAUDILL, R. J. Comparing Ladder Logic Diagrams and Petri Nets for Sequence Controller Design Trough a Discrete Manufacturing System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 411, nº 6, p. 611-619, 1994.
- WOBBE, W. Anthropocentric Production Systems: Socio-technological Innovations. *Balanced Automation Systems II - Implementation challenges for anthropocentric manufacturing*, p. 17-24. Camarinha-Matos, L. M. e Afsarmanesh, H. (eds), Grã-Bretanha, 1997.
- WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 1992.