

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

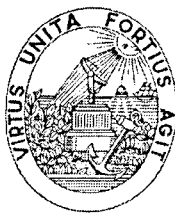
Especificação de uma Arquitectura
para Controlador de
Célula Flexível de Fabrico

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex – PORTUGAL

**Especificação de uma Arquitectura
para Controlador de
Célula Flexível de Fabrico**

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Especificação de uma Arquitectura para Controlador de Célula Flexível de Fabrico

José Augusto de Almeida Pinheiro de Carvalho

Licenciado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
pela
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre
em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Área de especialização de Automação Industrial)

681.5 (043)
CARJ/ESP

CARJ/ESP

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA
N.º _____
COU _____
Data ____/____/10 ____

N.º. 2913

Dissertação realizada sob a supervisão do

Prof. Dr. Adriano da Silva Carvalho

do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Setembro de 1995

José Augusto de Almeida Pinheiro de Carvalho

(jac@cabral.fe.up.pt)

Especificação de uma Arquitectura para Controlador de Célula Flexível de Fabrico

Aos meus Pais

Resumo

O recurso a sistemas flexíveis de fabrico apresenta-se como uma possibilidade para muitas empresas operarem em mercados com constantes mutações e cada vez mais competitivos. Este sistema tem como objectivo imediato a fácil adaptação a variantes do processo de fabrico, daí a necessidade de um complexo sistema de controlo. Por este facto, e também devido à característica de capital intensivo deste tipo de sistema, é-lhe exigido que utilize de forma eficiente os recursos e diminua a dependência da estrutura de controlo.

Resulta assim um significativo trabalho de investigação e desenvolvimento nesta área, do qual se deve salientar o referente a arquitecturas e métodos de controlo aplicados em sistemas de fabrico. Os avanços tecnológicos ao nível dos sistemas de informação, e a normalização de protocolos de comunicação, permitiram resolver muitos dos problemas de interoperabilidade entre sistemas. Esta evolução serviu de suporte ao gradual desenvolvimento das arquitecturas de controlo. O referido processo evolutivo efectuou-se no sentido do deslocamento da centralização das tarefas de controlo para a sua distribuição.

No presente trabalho é analisado o problema do controlo de sistemas flexíveis de fabrico, nomeadamente na sua configuração celular. É apresentada e especificada uma arquitectura para um controlador de célula, que se fundamenta na estrutura modular e significativo grau de autonomia dos elementos que a constituem.

A estrutura adoptada é desenvolvida a partir de dois módulos principais. Um é responsável pela administração da estrutura do controlador de célula e por planear as tarefas que lhe estão afectas. O outro é constituído por um conjunto de controladores autónomos, os quais são responsáveis pela coordenação e controlo do processo de fabrico no interior da célula. A estrutura especificada permite organizar a actividade fabril em níveis distintos por forma a melhor se adaptar aos diferentes níveis da acção de controlo requeridas. Aos diversos módulos definidos é atribuído ainda um conjunto de interfaces de forma a cooperar nas acções realizadas na célula ou no exterior.

Palavras chave: Automação Industrial; Sistemas flexíveis de fabrico; Arquitecturas de controlo;

Célula de fabrico; Controlo de produção.

Agradecimentos

No decurso deste trabalho recebi provas de amizade e solidariedade por parte de muitas pessoas. Assim desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

ao Professor Doutor Adriano da Silva Carvalho, na qualidade de orientador desta tese, pelo total apoio e constante disponibilidade sempre manifestados durante o desenvolvimento daquela;

aos colegas Alexandre Dias, Mário de Sousa, e Paulo Portugal pelo apoio e amizade sempre demonstrados;

ao Eng. Raúl Oliveira pelas suas contribuições e discussões mantidas;

aos docentes e colegas da Secção de Automação e Controlo e do Instituto de Sistemas e Robótica pelo apoio e solidariedade demonstrados;

à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e ao Instituto de Sistemas e Robótica pela cedência de equipamentos e instalações imprescindíveis à realização deste trabalho;

à Universidade do Porto, pela experiência adquirida na área do tema desta dissertação através da participação em diferentes projectos;

Colaboração na fase de instalação da célula flexível de fabrico no CCP (Centro de CIM do Porto);

Participação no CCE-CNMA (pela Faculdade de Engenharia/ISR), no desenvolvimento de aplicações a nível industrial, com vista à integração de vários equipamentos na fábrica de transformadores da EFACEC.

À minha Família e em particular aos meus Pais pelo apoio prestado.

À minha namorada Ana Cristina pelo apoio nos momentos difíceis e pela sua dedicação e colaboração.

Índice

Índice de Figuras	xvii
Índice de Tabelas	xix
Capítulo 1 - Introdução.....	23
1.2 Contexto.....	25
1.3 Estrutura da Tese	27
Parte I	
Enquadramento das Arquitecturas de Controlo nos Sistemas Flexíveis de Fabrico.....	31
Capítulo 2 - Enquadramento das Arquitecturas de Controlo nos Sistemas Flexíveis de Fabrico..	33
2.1 Introdução.....	33
2.2 O sistema de Fabrico.....	34
2.2.1 Introdução	34
2.2.2 Caracterização de Sistemas Flexíveis de Fabrico (FMS).....	35
2.2.3 Caracterização de Células de Fabrico	37
2.2.4 Breve Consideração às Configurações.....	38
2.3 O Modelo da Empresa	39
2.3.1 Introdução	39
2.3.2 O Contributo da Siemens	40
2.3.3 O Contributo da DEC.....	42
2.3.4 O Contributo do Projecto ESPRIT CIM-OSA	43
2.3.5 O Contributo do NIST (NBS)	45
2.3.6 O Contributo ISO.....	46
2.3.7 Conclusão.....	48

2.4 O Sistema de Comunicação.....	48
2.4.1 Introdução.....	48
2.4.2 O Contributo da ISO.....	49
2.4.3 O Modelo OSI	49
2.4.4 A Utilização de MMS na Camada de Aplicação	50
2.4.5 O Contributo do CNMA	51
2.4.6 O Impacto na Arquitectura de Controlo	51
2.5 As Arquitecturas Básicas de Controlo.....	52
2.5.1 Introdução.....	52
2.5.2 O Controlo Centralizado.....	52
2.5.3 O Controlo Hierárquico	54
2.5.4 O Controlo Hierárquico Modificado	55
2.5.5 O Controlo Heterárquico	55
2.5.6 Conclusão	56
2.6 Conclusão	57

Parte II

Estudo de uma Arquitectura para um Controlador de Célula	59
Capítulo 3 - Formulação de um problema de Controlo e Análise da sua Envolvente.....	61
3.1 Introdução	61
3.2 Formulação do Problema.....	61
3.3 Análise de Requisitos	62
3.3.1 Segurança	62
3.3.2 Tolerância a Falhas.....	63
3.3.3 Modificabilidade e Extensibilidade	63
3.3.4 Reconfigurabilidade	64
3.4 Estudo da Envolvente do Problema.....	64
3.4.1 Comparação das Arquitecturas Básicas de Controlo	65
3.4.1.1 Quanto ao Funcionamento.....	65
3.4.1.2 Quanto à Eficiência/Simplicidade	66

3.4.1.3 Quanto à Tolerância a Falhas.....	68
3.4.1.4 Quanto à Modificabilidade/Extensibilidade.....	69
3.4.2 Motivação para a Escolha de uma Organização Celular.....	71
3.4.2.1 Estruturação do Sistema de Fabrico.....	71
3.4.2.1.1 Os FMS.....	71
3.4.2.1.2 As Células de Fabrico.....	71
3.4.2.2 Comparação das duas Configurações de Sistemas de Fabrico.....	72
3.4.2.2.1 Quanto à Eficiência	72
3.4.2.2.1.1 Os FMS.....	72
3.4.2.2.1.2 As Células de Fabrico.....	73
3.4.2.2.2 Quanto ao Impacto no Controlo	73
3.4.2.2.2.1 Os FMS.....	73
3.4.2.2.2.2 As Células de fabrico.....	73
3.4.2.2.3 Conclusão	74
3.4.3 Interação Nível Oficina/Célula.....	74
3.4.3.1 Transacção Nível Oficina /Célula.....	76
3.4.3.1.1 Células sem Capacidade de Planeamento	76
3.4.3.1.2 Células com Capacidade de Planeamento.....	76
3.4.3.1.2.1 Atribuição ao Volume	76
3.4.3.1.2.2 Atribuição ao Item.....	76
3.4.3.1.2.3 Atribuição e Responsabilização.....	77
3.4.3.1.2.4 Atribuição por Negociação.....	77
3.4.3.1.2.4.1 Critério de Decisão	78
3.4.3.1.2.4.2 Problema de Sequenciamento	78
3.5 Conclusão	80

Capítulo 4 - Apresentação de uma Arquitectura para Controlador de Célula	81
4.1 Introdução	81
4.2 Estrutura do Controlador de Célula.....	82
4.2.1 Descrição do Funcionamento	83
4.2.1.1 Ao Nível do Gestor.....	83
4.2.1.1.1 A Utilização da Licitação pelo Nível Oficina	84
4.2.1.2 Ao Nível do Controlador	85
4.2.2 A Modularidade da Arquitectura.....	85
4.3 Estrutura do Gestor.....	86
4.3.1 Gestão da Célula.....	87
4.3.2 Interação com o Exterior da Célula	88
4.4 O Controlador.....	90
4.4.1 Objectivos.....	91
4.4.2 A Estrutura do Controlador	92
4.4.2.1 O Coordenador	92
4.4.2.1.1 Recuperação de Falhas	93
4.4.2.1.1.1 Perturbações no Processo	93
4.4.2.1.1.2 Deadlocks.....	94
4.4.3 O Executor.....	95
4.4.3.1 Acção de Produção.....	96
4.4.3.2 Acção de Movimentação	96
4.4.3.3 Recuperação de Falhas	97
4.4.4 O Monitor	97
4.4.4.1 Recolha de Informação.....	98
4.4.4.2 Análise da Informação.....	98
4.4.4.3 Funções Relacionadas com Análise da Informação	98
4.4.4.3.1 Manutenção Preventiva.....	98
4.4.4.3.2 Controlo de Qualidade	98
4.4.5 A Interface Homem/Máquina.....	99

4.5 Conclusão	100
Parte III	
Especificação da Arquitectura de Controlo	101
Capítulo 5 - Especificação do Gestor	103
5.1 Introdução	103
5.2 O Gestor de Recursos	104
5.2.1 Análise Funcional	104
5.2.1.1 Recepção e Interpretação dos Pedidos	105
5.2.1.2 Análise de Capacidade	105
5.2.1.3 Formulação de Licitações	107
5.2.1.4 Lista de Tarefas em Carteira	107
5.2.1.5 Escalonador	107
5.2.1.5.1 Plano de Acção para os Controladores	108
5.2.1.5.1.1 Exclusão de Escalonamento de Tarefas do Sistema de Transporte ..	108
5.2.1.5.1.2 Formulação de Planos Individuais	109
5.2.1.6 Conclusão	109
5.2.2 Análise da Informação	110
5.2.2.1 Decomposição da Tarefa	110
5.2.2.2 Recursos Existentes	112
5.2.2.3 Utilização de Recursos	113
5.2.2.4 Sequência das Operações	115
5.2.2.5 Tempo Operação/Tempo Limite de Conclusão	115
5.3 O Registo	116
5.3.1 Análise Funcional	117
5.3.2 Análise da Informação	118
5.3.2.1 Equipamentos Transformadores	119
5.3.2.2 Equipamentos Transportadores	119

5.4 O Monitor	120
5.4.1 Análise Funcional	120
5.4.2 Análise da Informação	121
5.5 Interfaces	121
5.5.1 Com o Nível Oficina	121
5.5.1.1 Anúncio de Tarefa	121
5.5.1.2 Licitação	122
5.5.1.3 Adjudicação	122
5.5.1.4 Contracto Directo	123
5.5.1.5 Confirmação	123
5.5.1.6 Conclusão da Tarefa	124
5.5.2 Com os Controladores	124
5.5.2.1 Atribuição de Operações	124
5.5.2.2 Registo	125
5.5.2.2.1 Associação	125
5.5.2.2.2 Desvinculação	125
5.5.2.2.3 Informação de Associação	126
5.5.2.3 Informação de Processo	126
5.5.2.3.1 Início de Operação	126
5.5.2.3.2 Conclusão de Operação	127
5.5.2.4 Excepções	127
5.5.3 Com o Sistema Supervisão Homem/Máquina	127
5.6 Conclusão	128
Capítulo 6 - Especificação do Controlador	131
6.1 Introdução	131
6.1.1 Classes de controlador	132
6.2 O Coordenador	132
6.2.1 Análise Funcional	133
6.2.1.1 Registo	133

6.2.1.2 Calendarização das Operações.....	134
6.2.1.3 Análise de Requisitos.....	134
6.2.1.3.1 Perturbações no Processo	135
6.2.1.4 Plano de Execução	136
6.2.1.5 Coordenação	137
6.2.1.5.1 Informação de Estado de Equipamento	138
6.2.1.5.2 Procedimento de Transferência de Operação	138
6.2.1.5.3 Início e Conclusão de Tarefas.....	138
6.2.2 Análise da Informação	138
6.2.2.1 Calendarização da Operação.....	139
6.2.2.2 Análise da Operação	139
6.2.2.2.1 Sequência.....	139
6.2.2.2.2 Requisitos	140
6.2.2.3 Utilização de Ferramentas.....	141
6.2.2.4 Configuração e Ocupação do Equipamento.....	142
6.2.2.4.1 Pedidos Pendentes	142
6.2.3 As Interfaces	143
6.2.3.1 Com Gestor.....	143
6.2.3.2 Com Executor	143
6.2.3.3 Intercontroladores.....	144
6.2.3.3.1 Interacção Entre Coordenadores.....	144
6.2.3.3.1.1 Estabelecimento da Cadeia de Produção	145
6.2.3.3.1.2 Contratação dos Recursos.....	147
6.2.3.3.1.3 Disponibilidade do Equipamento	149
6.2.3.3.1.4 Contractação de Transporte	149
6.2.3.3.2 Interacção entre Executores.....	152
6.3 O Executor.....	152
6.3.1 Interpretação de Planos de Acção	153

6.3.1.1 Setup.....	155
6.3.1.1.1 Consistência de Programas NC	156
6.3.1.2 Carga de Equipamento	156
6.3.1.3 Transformação.....	158
6.3.1.3.1 Recuperação de Falhas	158
6.3.1.4 Teste	159
6.3.1.5 Descarga de Equipamento	160
6.3.1.6 Carga/Descarga de Ferramentas	161
6.3.1.7 Informação do Estado do Processo.....	162
6.3.2 Interacção com os Equipamentos	162
6.4 O Monitor	163
6.4.1 Análise Funcional.....	164
6.4.2 Análise da Informação.....	164
6.4.2.1 Utilizadores da Informação	165
6.5 Fornecedor de Serviços para Interfaces Homem/Máquina.....	166
6.5.1 Análise Funcional.....	166
6.6 Conclusão	167
 Parte IV	
Conclusão e Perspectivas de Desenvolvimento	171
Capítulo 7 - Conclusão e Perspectivas de Desenvolvimento.....	173
Referências	181

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Tendência dos mercados nas últimas décadas.	34
Figura 2.2 - Caracterização de métodos de fabrico relativamente à produtividade versus flexibilidade.	35
Figura 2.3 - Estrutura de uma empresa e ciclo de informação associado.	39
Figura 2.4 - Conceito CIM do modelo da empresa segundo a Siemens.	41
Figura 2.5 - Estrutura de modelização da empresa, apresentado pelo CIM-OSA.	44
Figura 2.6 - Estrutura hierárquica da empresa segundo NIST.	46
Figura 2.7 - Arquitectura hierárquica da empresa, defendida pela ISO.	47
Figura 2.8 - Modelo de referência OSI.	50
Figura 2.9 - Arquitectura centralizada.	53
Figura 2.10 - Estrutura hierárquica com um único nível supervisor/supervisionado.	54
Figura 2.11 - Estrutura hierárquica modificada.	55
Figura 2.12 - Arquitectura heterárquica.	56
Figura 3.1 - Divisão do tempo de produção para um sistema de produção por lotes.	72
Figura 3.2 - Sequência que não cumpre os objectivos do sistema.	79
Figura 3.3 - Sequência que cumpre os objectivos do sistema.	79
Figura 4.1 - Arquitectura do controlador de célula.	82
Figura 4.2 - Representação do conceito de metamáquina.	84
Figura 4.3 - Estrutura do gestor.	87
Figura 4.4 - Estrutura do controlador.	92
Figura 4.5 - Situação de bloqueio numa célula de fabrico.	94
Figura 5.1 - Estrutura do módulo gestor de recursos.	105
figura 5.2 - A tarefa, sua constituição e seus requisitos.	110

Figura 5.3 - Constituição da célula e sua capacidade.....	113
Figura 5.4 - Ocupação dos recursos da célula.....	114
Figura 5.5 - Sequência das operações na execução de uma tarefa.....	115
Figura 5.6 - Restrições temporais do processo.	116
Figura 5.7 - Mecanismo de constituição da célula.....	117
Figura 6.1 - Estrutura do módulo coordenador.....	133
Figura 6.2 - Preparação de planos de execução.....	137
Figura 6.3 - Informação relativa à calendarização das operações.....	139
Figura 6.4 - Identificação da sequência do processo.	140
Figura 6.5 - Discriminação do sistema de transporte no interior da célula.....	140
Figura 6.6 - Requisitos para a realização da operação.....	141
Figura 6.7 - Informação relativa ao armazém virtual do equipamento.....	141
Figura 6.8 - Estado e configuração do equipamento.....	142
Figura - 6.9 Pedidos de execução pendentes.	143
Figura 6.10 - Estabelecimento da cadeia de produção.....	145
Figura 6.11 - Processo de preparação para a realização de uma operação.	147
Figura 6.12 - Reserva de equipamento.	148
Figura 6.13 - Indicação de disponibilidade do equipamento.....	149
Figura 6.14 - Negociação de transferência de operação.	151
Figura 6.15 - Sincronização dos equipamentos durante o processo de transferência.	152
Figura 6.16 - Divisão do problema de controlo.....	153
Figura 6.17 - Mapeamento das operações em acções no equipamento.....	154
Figura 6.18 - Sincronização para carga de equipamento.....	157
Figura 6.19 - Sincronização na descarga do equipamento.....	161
Figura 6.20 - Estrutura do monitor.	163
Figura 6.21 - Mecanismo de envio de variáveis ao sistema de interfaces.	167

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Diferentes níveis do problema de controlo.	91
Tabela 5.1 - Informação de Registo.	118
Tabela 5.2 - Representação da mensagem de anúncio de tarefa.	122
Tabela 5.3 - Representação da mensagem de licitação.	122
Tabela 5.4 - Representação da mensagem de adjudicação.	123
Tabela 5.5 - Representação da mensagem de contracto directo.	123
Tabela 5.6 - Representação da mensagem de confirmação.	124
Tabela 5.7 - Representação da mensagem de conclusão de tarefa.	124
Tabela 5.8 - Representação da mensagem de atribuição de operação.	125
Tabela 5.9 - Representação da mensagem de associação.	125
Tabela 5.10 - Representação da mensagem de desvinculação.	126
Tabela 5.11 - Representação da mensagem de informação de associação.	126
Tabela 5.12 - Representação da mensagem de início de operação.	127
Tabela 5.13 - Representação da mensagem de conclusão de operação.	127
Tabela 5.14 - Representação da mensagem de excepção.	127
Tabela 6.1 - Pedido de preparação de operação.	145
Tabela 6.2 - Pedido de preparação de transporte.	146
Tabela 6.3 - Mensagem de confirmação.	146
Tabela 6.4 - Requisição de equipamento.	148
Tabela 6.5 - Pedido de transferência de operação.	150
Tabela 6.6 - Indicação de posição de transferência.	150
Tabela 6.7 - Pedido de início de transporte.	151

Tabela 6.8 - Procedimento de setup.....	155
Tabela 6.9 - Procedimento de carga de equipamento.	157
Tabela 6.10 - Procedimento de transformação.	158
Tabela 6.11 - Procedimento de teste.	159
Tabela 6.12 - Procedimento de descarga de equipamento.	160
Tabela 6.13 - Procedimento de carga/descarga de ferramentas.	161
Tabela 6.14 - Pedido de informação do estado do processo.	162

Lista de Acrónimos

AGV	Automated Guided Vehicle
CAD	Computer Aid Design
CAE	Computer Aid Engineering
CAM	Computer Aid Manufacturing
CAP	Computer Aid Planning
CAQ	Computer Aid Quality control
CCE	CIME Computing Environment
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIM-OSA	Computer Integrated Manufacturing-Open System Architecture
CNC	Computer Numerical Control
CNMA	Communication Network for Manufacturing Applications
CPU	Central Processing Unit
DEC	Digital Equipment Corporation
ESPRIT	European Strategic programme for Research and Development in Information Technology
FMS	Flexible Manufacturing System
HM	Homem/Máquina
GT	Group Technology
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
JIT	Just-In-Time
MAP	Manufacturing Automation Protocol

MMS	Manufacturing Message Specification
NBS	National Bureau of Standards
NC	Numerical Control
NIST	National Institute of Standards and Technology
OSI	Open Systems Interconnection
PAC	Production Activity Control
PLC	Programmable Logic Controller
PP&C	Production Planning and Control
RC	Remote Controller
VMD	Virtual Manufacturing Device
WIP	Work In Process

Capítulo 1

Introdução

O desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias utilizados na indústria, traduziu-se pela possibilidade de uma oferta mais alargada em termos de características diferenciadoras do produto final, quer em funcionalidade, quer ao nível da imagem que transmitem para os seus possíveis compradores. Esta prática foi gerando expectativas e hábitos no consumidor tornando-o muito mais crítico e selectivo na aquisição dos produtos que lhe são oferecidos. Esta forma de agir por parte do consumidor, aliada a constantes fenómenos de moda e obsolência, diminui drasticamente o tempo do ciclo de vida dos produtos, colocando às indústrias um desafio dramático: adaptar-se a um mercado cada vez mais competitivo e constantemente em mutação, ou então, deixar de ser competitiva.

Torna-se claro que a palavra de ordem é a mudança, sendo interessante verificar a que níveis se faz sentir e a sua repercussão na estratégia das empresas:

- **Relações com entidades externas à empresa.** As mudanças ao nível dos meios de comunicação possibilitam uma fácil troca quer de informação, quer de colocação/importação de produtos dos mais diversos mercados. A empresa deve estar atenta a estes factores pois, não só fornecem novas possibilidades de negócio, como também aumentam o risco de ser suplantada pelos concorrentes. Deste modo, a estratégia da empresa deve mudar no sentido de uma escolha acertada e diversificada de fornecedores e empresas cooperantes;

- **Tecnologia.** Este é sem dúvida um dos níveis onde a mudança se faz sentir mais intensamente. O aparecimento de novos materiais, novas técnicas de os transformar, alteração dos processos de fabrico, comunicações e todo o manuseamento da informação, são os alicerces para implementação de novas estratégias de fabrico;
- **Standards.** A evolução no sentido da normalização e sua aceitação pelas diversas entidades e governos originam a concepção de protocolos, regras internacionais e standards de engenharia, que possibilitam uma uniformização da forma de fazer e representar;
- **Processamento da informação.** O contributo deste nicho tecnológico tem sido sem dúvida um dos importantes agentes instigadores de mudança. Esta deve-se à constante evolução, tanto ao nível de performance como do decréscimo dos preços praticados para os sistemas de informação. Por outro lado, o aparecimento de redes de comunicação e o desenvolvimento de novas formas de tratamento de informação vieram permitir o seu uso e distribuição pelos diferentes sectores onde esta é necessária;
- **Competição.** É cada vez maior a disputa de um mercado ou segmento do mesmo, exigindo à empresa estar preparada para enfrentar esta competição.

Esta pressão no sentido da obtenção de uma grande eficiência por parte das empresas provoca constantes mutações na sua organização tendo em vista atingir a excelência. Para atingir este objectivo é exigido esforço de:

- **Inovação:** geração de novos produtos, ideias que permitam abrir novos mercados;
- **Aumento da produtividade:** como forma de consolidar os seus objectivos e a sua rentabilidade eliminando o que não lhe gere valor acrescentado;
- **Controlo de qualidade:** para manter elevado o nível de satisfação dos clientes, assim como diminuir encargos com assistência em período de garantia;
- **Flexibilidade:** que lhe permita uma fácil adaptação (reacção) às diferentes exigências do mercado.

Para irem ao encontro destes requisitos as empresas têm de reformular toda a sua filosofia, quer na forma como encaram a sua interface com o mercado, quer como reformulam o seu aparelho produtivo para poder estar no mercado com uma postura competitiva.

A simples aquisição de equipamentos mais sofisticados, e com maior capacidade de produção e a utilização de ferramentas de ajuda na concepção de novos produtos, poderá não ser suficiente para tornar a empresa competitiva. Uma má coordenação do processo de fabrico, a

descoordenação entre departamentos, etc, pode levar à subutilização dos recursos. Daí que se torne imperativo que estes tenham uma taxa de utilização elevada de forma a justificar a sua inclusão no processo de fabrico. A correcta coordenação entre sectores da empresa está dependente de como se processa a troca de informação gerada e/ou consumida nos diversos postos. Desta forma, e devido à necessidade de rápida adaptação da empresa à sua envolvente, constata-se que o ideal seria a informação estar constantemente disponível nos locais onde é necessária, ou que a obtenha rapidamente quem dela necessite. Este é sem dúvida um dos pontos fundamentais, do qual a empresa deve cuidar com grande atenção dado ser uma das condições essenciais para que qualquer modelo de fabrico possa ter sucesso.

A utilização dos modernos sistemas de informação vem de encontro a esta necessidade, permitindo a interligação entre os diferentes equipamentos que se encontram distribuídos pela empresa. Pelo facto, é possível ultrapassar uma das grandes barreiras ao bom funcionamento dos sistemas em ambiente fabril, a interoperabilidade entre equipamentos. Desta forma, tornou-se possível fazer desaparecer ilhas de automação provocadas pela incompatibilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes e possibilitar a implementação efectiva de novas filosofias de fabrico e gestão de empresas.

Novas organizações para novos desafios

Os novos desafios que se levantam requerem um grande esforço de mudança, pelo que antigos modelos de organização têm de ser repensados e reformulados às novas necessidades. A evolução tecnológica suporta essa mudança permitindo que os processos de fabrico sejam aplicados de uma forma mais efectiva e possibilitando responder às novas exigências (qualidade, variedade, preço competitivo). Assim, torna-se aliciante a utilização de sistemas flexíveis de fabrico, de forma a adaptar-se fácil e rapidamente a variantes do processo produtivo. Contudo, devido à grande necessidade de controlo requerido por este tipo de sistema, uma má definição dos objectivos da empresa, pode tornar esta opção numa operação cara e eventualmente inoperante. A este facto não é completamente alheio a sua estrutura de controlo.

1.2 Contexto

Pretende-se neste trabalho abordar o problema de controlo de sistemas flexíveis de fabrico, tomando-se em consideração a área da metalomecânica. De seguida, será efectuado o seu enquadramento, quer em termos de estrutura física, quer em termos da lógica de controlo.

Os sistemas flexíveis de fabrico, entre outras funções, pretendem gerir recursos de forma que sejam facilmente adaptáveis ao processo de fabrico, não só pela redução do tempo de circulação dos materiais pela oficina, como também utilização racional da informação necessária. Uma forma de conseguir estes objectivos é agrupar um conjunto de recursos, máquinas e operadores,

de forma a produzir uma ou mais famílias de peças (célula de fabrico). Desta forma, consegue-se diminuir a distância a percorrer pelos materiais e produtos semi-acabados. A circulação entre células pode ser executada por sistemas de transporte mais ao menos sofisticados, desde tapetes rolantes a AGV (Automated Guided Vehicle). Pode ainda ser executada por uma definição cuidada do *layout* de células ligadas (orientadas ao produto), agrupando-as de modo que o produto circule entre elas de forma natural. Por outro lado, a estrutura celular facilita a própria gestão e organização da informação que circula na oficina, permitindo distribuir competências pelas diversas células que a constituem. Independentemente da estratégia a aplicar, dentro dos novos sistemas de fabrico, a organização em células de fabrico é bastante benéfica numa grande parte das abordagens do processo produtivo.

As necessidades de controlo apresentados pelos sistemas flexíveis de fabrico são extremamente significativas. Este facto deve-se à natureza complexa do processo de fabrico, que exige um grande esforço de coordenação entre os diversos participantes no processo e que desta forma requerem uma grande componente de controlo. Assim, o desempenho de todo o sistema e a correcta utilização dos recursos, fica dependente de como se processa o seu controlo. Contudo, a acção de controlo não depende somente da aplicação de algoritmos de controlo, pois a sua eficiência está também dependente da arquitectura que o suporta. Desta forma, assume particular importância a definição de uma boa arquitectura de controlo. Em primeiro lugar porque o correcto funcionamento do sistema está condicionado pela sua acção. Depois, porque a dependência funcional em termos de controlo, pode traduzir-se numa dependência estrutural, implicando que a eventual necessidade de proceder a alterações no sistema comporte custos avultados, podendo mesmo ser inoportunos para a empresa que o utiliza. Esta limitação à alteração do sistema reflecte-se quer em termos de alterações de estratégias de controlo quer em termos da estrutura física do sistema de fabrico, ou seja, em termos da possibilidade de adição ou remoção simples de equipamento da estrutura de controlo.

Como consequência as arquitecturas de controlo têm vindo a evoluir, processando-se esta evolução não só no sentido de melhorar a adaptação ao processo de fabrico, mas também de libertar o sistema da dependência de estruturas de controlo extremamente rígidas, que lhe acarretam grandes restrições em termos de futuras alterações. Este processo evolutivo é também motivado pelos avanços tecnológicos ao nível dos sistemas de informação, nomeadamente com a expansão dos sistemas distribuídos, tendo-se assistido a um desenvolvimento das arquitecturas de controlo. Esta mudança gradual tem-se processado da configuração centralizada para a totalmente distribuída (heterárquica), passando pelas arquitecturas hierárquica e hierárquica modificada, ou seja, da centralização num computador da execução das tarefas como:

- Escalonamento das operações pelos equipamentos;

- Transferência de programas de controlo numérico;
- Controlo dos sistemas de transporte,

para a distribuição e total autonomia dos controladores dos equipamentos que intervêm no processo de fabrico (característica heterárquica).

1.3 Estrutura da Tese

No presente trabalho será apresentada uma arquitectura para um controlador de célula, no qual serão focadas características importantes a uma estrutura de controlo, tais como:

- Capacidade de ser facilmente configurável, ou seja, que se adapte de forma simples ao processo de fabrico;
- Capacidade de alterar a sua estrutura, tanto em termos lógicos (através da possibilidade de alterar as estratégias de controlo e de gestão do controlador de célula de uma forma simples), como pela fácil alteração do número e tipo de equipamentos associados à estrutura do controlador.

Estas características apontam para a necessidade do controlador de célula apresentar uma estrutura modular, aliada a um considerável grau de autonomia dos seus elementos constituintes. A apresentação da referida arquitectura está inserida na estrutura da presente tese que se encontra dividida em quatro partes.

Na primeira parte, designada por "Enquadramento das Arquitecturas de Controlo nos Sistemas Flexíveis de Fabrico", serão apresentadas as bases relativas ao sistema de fabrico, seu contexto e tipo de arquitecturas usadas para o seu controlo. Desta forma, será abordado o sistema flexível de fabrico, em termos da sua constituição e configuração. Será também analisada a estrutura da empresa em que se insere, sendo referidos conceitos e modelos da estrutura da empresa, formulados por diversas organizações. O sistema de comunicação como elemento vital ao bom funcionamento da empresa e de todos os seus sectores é também alvo de referência, sendo este um elemento essencial para a correcta acção de controlo dos sistemas de fabrico e elemento condicionador à evolução das arquitecturas responsáveis pelo seu controlo. A concluir serão apresentadas as arquitecturas básicas de controlo para sistemas flexíveis de fabrico.

A segunda parte deste trabalho, designada por "Estudo de uma Arquitectura para um Controlador de Célula", encontra-se dividida em dois capítulos, respectivamente o capítulo três e quatro. Aborda-se o problema de controlo, o estudo da sua envolvente, culminando com a apresentação de uma arquitectura para controlador de célula.

No capítulo 3, "Formulação de um Problema de Controlo e Análise da sua Envolvente", é formalizado o problema de controlo de uma estrutura celular, sendo também analisados os seus

requisitos. Comporta ainda uma análise da envolvente do problema, na qual são focados diversos factores que condicionam a arquitectura de controlo. Estes prendem-se com:

- As características das arquitecturas básicas de controlo e sua comparação relativamente a diversos aspectos, tais como a simplicidade de implementação, a eficiência, a tolerância a falhas e capacidade de comportar alterações na sua estrutura;
- A motivação para a escolha de uma organização celular como configuração do sistema de fabrico, entrando em consideração com factores importantes como a eficiência do sistema de fabrico e o impacto da sua estrutura no controlo;
- A interacção nível oficina e nível célula. Analisa-se a relação dos dois níveis e suas implicações, quer em termos da definição de controlo, quer em termos do tipo de transacção de tarefas.

No capítulo 4, "Apresentação de uma Arquitectura para Controlador de Célula", procede-se à apresentação de uma arquitectura de controlo, que realça a sua característica modular e a autonomia dos seus elementos. É efectuada uma descrição da sua estrutura e forma como se relacionam os seus elementos. São apresentados em termos funcionais os seus módulos principais: o módulo gestor, responsável pela administração da estrutura da célula e gestão dos recursos que lhe estão associados, e o módulo controlador que efectua o controlo do equipamento que lhe está associado, na estrutura celular.

Na terceira parte, "Especificação da Arquitectura de Controlo", é efectuada uma especificação em termos funcionais e de informação dos elementos que constituem a estrutura do controlador de célula. Esta parte encontra-se dividida em dois capítulos.

No capítulo 5, "Especificação do Gestor", são tratados os diversos problemas relacionados com a administração da célula e gestão dos seus recursos. Para tal são explicitados os diversos módulos que constituem o gestor e especificados quer em termos funcionais e de informação. São igualmente indicadas um conjunto básico de mensagens, que possibilita a interacção ao nível superior com o nível oficina, e para o seu interior com os diversos controladores que se associam ao gestor de forma a constituir o controlador de célula.

No capítulo 6, "Especificação do Controlador", é abordada a especificação do controlador. São referidas as interacções com os restantes controladores que constituem a célula e a forma de cooperarem na realização das tarefas que lhe foram atribuídas. Neste capítulo, e até por razões de simplicidade, as interacções com as entidades exteriores à célula são superficialmente referidas, sendo antes realçadas as interacções entre controladores que pertencem à célula.

O capítulo 6 encontra-se ainda organizado pelos os módulos coordenador, executor, monitor e fornecedor de serviços para sistemas de interface Homem/Máquina (HM). Os dois primeiros

correspondem respectivamente às funções de organização das operações na estrutura celular e interacção com o nível equipamento. Os dois últimos prendem-se com a realimentação dos dois módulos que formam o bloco de controlo com informação proveniente do equipamento, e fornecimento de variáveis monitorizáveis a sistemas de supervisão, respectivamente.

Na quarta e última parte, "Conclusão e Perspectivas de Desenvolvimento", são efectuadas as considerações finais ao trabalho.

Assim através da utilização de uma arquitectura de controlo, que se adapte facilmente, quer a alterações no processo, quer a modificações na sua estrutura, procura-se satisfazer as exigências das empresas que pretendem utilizar os modernos sistemas de fabrico. Por um lado, permitindo cumprir o objectivo que se lhe exige, ou seja, que o sistema que controla produza de forma flexível e reaja às diversas variações no processo. Por outro lado tornando o sistema de fabrico menos dependente de questões estruturais, diminuindo as reservas que se colocam à utilização de um sistema flexível de fabrico.

Parte I

Enquadramento das Architecturas de Controlo nos Sistemas Flexíveis de Fabrico

A presente parte é composta por um único capítulo, o qual tem como objectivo introduzir diversos conceitos e referir diferentes fundamentos dos sistemas flexíveis de fabrico, e o seu sistema de controlo. Assim, o capítulo que constitui esta parte abordará as diferentes configurações do sistema de fabrico, que se encontram vocacionadas para o tipo de produção flexível e respectiva análise da estrutura da empresa em que está inserido. Far-se-á referência aos sistemas de informação que suportam e tornam possível o desenvolvimento de architecturas de controlo para tais sistemas, finalizando com uma análise das configurações básicas de architecturas de controlo.

Capítulo 2

Enquadramento das Architecturas de Controlo nos Sistemas Flexíveis de Fabrico

2.1 Introdução

As tendências dos mercados actuais, apontam para a necessidade de diversificação da oferta por parte das empresas. Esta tendência repercute-se nas empresas através da exigência de adaptação ao mercado, mais concretamente requer que estas tenham capacidade de reacção às mudanças ocorridas nesses mercados.

Este desafio obriga as empresas a rever a sua estrutura, exigindo-lhes um sistema de fabrico que tenha capacidade de se reconfigurar, por forma a responder com facilidade às diversas mudanças, nos mercados que pretende conquistar. O tipo de sistema de fabrico a escolher tem de possuir grande flexibilidade, de modo a proporcionar fáceis adaptações a variações no processo de fabrico. Estas exigências de flexibilidade requerem o uso intensivo de informação. Desta forma, a empresa deve estar estruturada de modo a providenciar bons canais de comunicação entre os diversos sectores que a compõe, deve ainda assegurar a racionalização da utilização da informação, proporcionando ao nível operacional todas as condições ao seu correcto funcionamento.

O nível operacional requer também um estudo cuidadoso durante a fase da sua concepção, quer relacionada com a constituição da estrutura do sistema de fabrico, quer em termos da definição

do sistema que o controla. Em consequência, os sistemas de fabrico têm sido alvo de profundo estudo visando o seu desenvolvimento e orientação no sentido da integração de novas tecnologias e filosofias de controlo na sua estrutura.

2.2 O sistema de Fabrico

2.2.1 Introdução

As exigências que se colocam às empresas pelas constantes mutações dos mercados e redução dos ciclos de vida dos produtos, obrigam a que a sua organização seja adaptada às novas realidades, nomeadamente que o seu aparelho produtivo seja orientado no sentido da sua flexibilização, possibilitando assim que este possa reagir atempadamente à mudança.

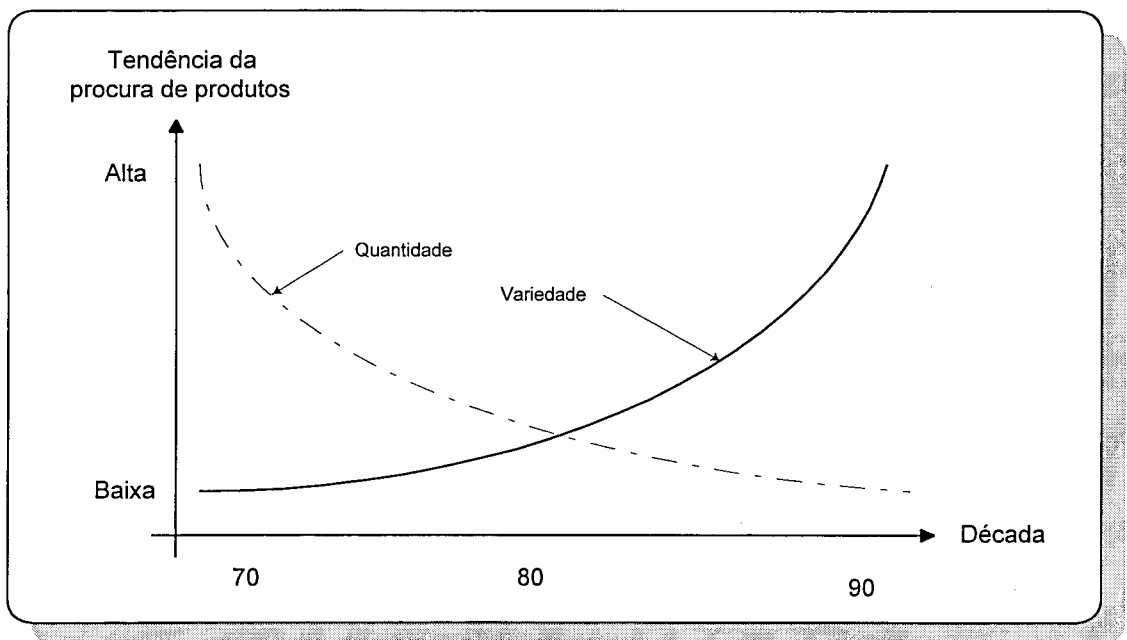


Figura 2.1 - Tendência dos mercados nas últimas décadas.

As tendências de mercado apontam para um aumento muito significativo das variantes de um produto aliada a uma redução drástica das quantidades dos mesmos, como mostra a figura 2.1. Esta constatação por parte de uma empresa que pretenda trabalhar em mercados onde as referidas variantes e reduzidos ciclos de vida do produto imperam, reflecte-se ao nível do tipo de produção que pratica, que naturalmente será em pequenos lotes, e pela procura de novos conceitos de fabrico directamente ligados ao problema da flexibilidade, para o qual os sistemas flexíveis de fabrico (FMS Flexible Manufacturing System) e a produção em células de fabrico estão particularmente vocacionados. Ver figura 2.2.

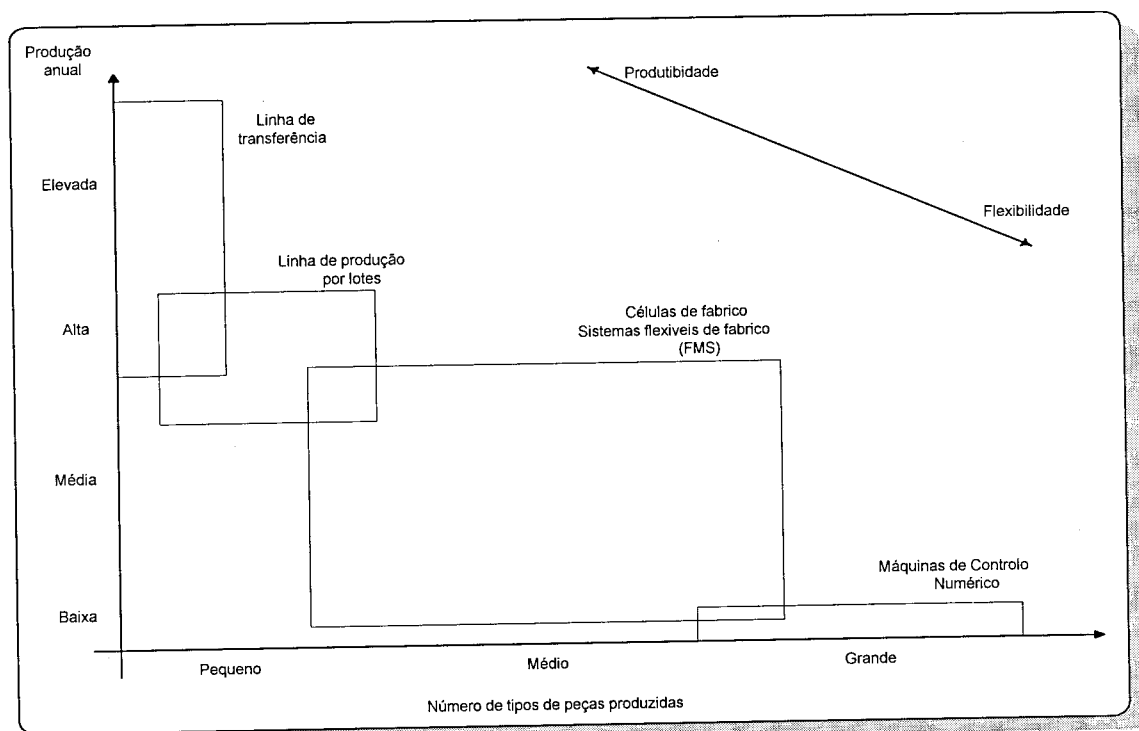


Figura 2.2 - Caracterização de métodos de fabrico relativamente à produtividade versus flexibilidade.

2.2.2 Caracterização de Sistemas Flexíveis de Fabrico (FMS)

Um sistema flexível de fabrico consiste num conjunto de máquinas interligadas por um sistema de transporte, sendo este responsável pelo transporte dos materiais a serem trabalhados nas máquinas através de paletes ou outro tipo de interface que permita às primeiras serem abastecidas de uma forma precisa, rápida e automática (National Bureau of Standards NBS).

Este tipo de sistema, que de certa forma pretende conciliar a flexibilidade à produtividade das linhas de transferência, faz para tal apelo à utilização de equipamento que na sua essência vai de encontro aos referidos objectivos.

A utilização de máquinas controlo numérico (CNC Computer Numerical Control) é frequente dado as suas excelentes características, quer ao nível da sua funcionalidade, quer por serem facilmente configuráveis, com *tempos de setup* relativamente reduzidos. Constituem de facto uma mais valia em termos de performance para o sistema.

Entre as suas características é de salientar:

- Elevado grau de liberdade: é comum a existência de máquinas que podem efectuar operações de três a seis eixos;

- Grande autonomia no número de operações executadas sobre uma peça ou mesmo sobre um conjunto de peças: esta particularidade deve-se à possibilidade de se efectuarem mudanças de ferramentas durante o ciclo de maquinagem, uma vez que pelo facto de possuírem um ou mais locais de armazenamento podem ser equipados com as ferramentas necessárias às tarefas a desempenhar;
- Automatização de tarefas como medição automática de coordenadas através de sondas de medida: aferição das medidas das ferramentas e sua correcção, monitorização do *tempo de vida de ferramentas* e controlo do desgaste e ruptura de ferramentas.

A configuração das máquinas CNC em termos de funcionamento, pode processar-se com uma simples operação de transferência de um programa onde estejam codificadas as operações para execução da peça pretendida, para a sua memória. Graças a esta facilidade este tipo de máquinas revelam-se com um grande grau de flexibilidade, só contrariado pelas limitações mecânicas, nomeadamente ao nível das fixações.

As máquinas que com mais frequência recorrem a este tipo de comando são: tornos mecânicos, vocacionados para a produção de peças cilíndricas e frezadoras orientadas para a produção de peças prismáticas.

Nos sistemas mais automatizados, a carga/descarga das máquinas é efectuada por manipuladores mecânicos (robots). O sistema de transporte responsável pelo fluxo de materiais, entre as máquinas e os armazéns, como fixações, paletes, ferramentas, etc, é geralmente assegurado por veículos guiados automaticamente (AGV).

Os sistemas flexíveis de fabrico (FMS) podem ser classificados genericamente em duas classes:

- **FMS dedicados.** São orientados para a produção de uma gama restrita de produtos que possuem em comum uma forma similar de serem produzidos. Neste caso o sistema procura aproximar-se mais de uma linha de produção orientada ao produto, recorrendo a máquinas mais especializadas (maior taxa de produção) em vez de máquinas extremamente flexíveis, indicada para uma grande gama de variantes mas com menor performance ao nível da taxa de produção;
- **FMS com ordens de fabrico aleatórias.** Indicado para ambientes de fabrico onde imperam as variantes dos itens a serem produzidos. A produção num horizonte temporal reduzido (por exemplo 1 dia) pode comportar a realização de diversos tipos de item, implicando mudanças nas configurações das máquinas assim como escalonamentos que reflectam essas variações. Deste modo, permitem a requisição de máquinas para efectuar operações em diferentes sequências, com o objectivo de realizar

as tarefas exigidas, implicando multifuncionalidade por parte destas. O sistema neste caso tenta aproximar-se da flexibilidade do *job shop*.

2.2.3 Caracterização de Células de Fabrico

Célula de fabrico é uma unidade organizacional, podendo ser constituída por uma ou mais máquinas, que preferencialmente produzem famílias de peças [Black, 91], podendo variar quanto ao grau da sua automatização.

Este tipo de sistema, sendo orientado ao produto, exige um cuidado especial na realização do desenho da sua estrutura, resultando esta de uma análise da gama de produtos que a empresa pretende fabricar assim como das variáveis associadas à sua produção, caso do fluxo de materiais, fixações, ferramentas, etc. Nesse estudo é frequente empregar-se técnicas como a definição de tecnologias de grupo (GT Group Technology).

Através desta filosofia identificam-se itens semelhantes agrupando-os de forma a tirar proveitos das suas semelhanças, nomeadamente na forma como são produzidos. Esses itens são então agrupados formando uma família que possui formas, dimensões ou etapas do processo de fabrico semelhantes. Desta forma conferem ao processo de fabrico um aumento de eficiência através da formação de células de fabrico orientadas à sua produção.

O agrupar dos itens em famílias pode não ser uma tarefa fácil, principalmente se a gama de produtos a que a empresa se pretende dedicar, expande-se por produtos onde as suas fronteiras podem ser vistas no interior de diferentes famílias. Contudo, há métodos genéricos para classificar os diversos produtos em famílias:

- **Inspecção visual.** É um método expedito que através da simples observação dos itens ou imagem dos mesmos, os agrupa em conjuntos com determinado grau de afinidade;
- **Classificação e codificação por exame de dados de engenharia (desenhos e dados de produção)** em que se atribui aos itens um código identificativo dos seus atributos. Uma amostragem a efectuar no início da produção revelará os códigos dos itens que se pretendem agrupar, segundo afinidades que possuem para pertencerem a uma família. Este método incorre no risco de falta de rigor, se a amostragem não for representativa da realidade do processo de fabrico;
- **Análise do fluxo do produto.** A análise do percurso dos itens na planta da fábrica, permite formar famílias de itens ou peças com base na semelhança de percursos.

A decisão da estruturação do aparelho produtivo em células de fabrico, tratando-se de um processo organizacional que leva à racionalização do processo de fabrico, transporta consigo as seguintes vantagens:

- Redução dos percursos efectuados para conclusão dos itens a produzir;
- Redução do tempo de preparação das máquina (tempo de setup);
- Redução do *WIP (Work In Process)*;
- Estas reduções traduzem-se finalmente na redução do *lead time*.

As células de fabrico possuem também elas as suas próprias singularidades nomeadamente ao nível dos recursos de que as constituem, abrindo lugar a uma classificação:

- **Célula de uma só máquina.** Esta encontra-se apetrechada com o sistema de armazenamento e troca de ferramentas, fixações e outros sistemas que lhe permitam produzir um ou mais itens de uma família de peças, sendo legítimas candidatas ao preenchimento destes requisitos as máquinas *CNC* (centros de maquinagem e centros de torneamento). Este tipo de máquina embora possua uma elevada flexibilidade intrínseca conferida pela capacidade de efectuar diversas operações, não transmite contudo ao sistema toda a sua potencial flexibilidade, como acontece em relação a uma célula composta por máquinas com operações básicas. Este facto é resultado da máquina só poder efectuar uma operação de cada vez, não permitindo a sobreposição de tempo de operações pelas diversas máquinas.
- **Célula formada por um grupo de máquinas operadas por pessoas.** Estas são agrupadas de forma a cooperarem na realização de uma ou mais famílias de peças, podendo o fluxo de materiais a percorrer a célula ser efectuado manualmente, ou através sistemas para efeito como tapetes rolantes, gruas de pórtico, etc. As máquinas são assistidas por pessoal conhecedor do processo de fabrico que circulam pela célula. Este tipo de célula sobretudo a de transporte manual apresenta um *layout* normalmente em forma de U [Black, 91];
- **Células como elementos de *FMS*,** são altamente automatizadas estando interligadas por um sistema integrado de manuseamento, transporte e armazenamento automático de materiais [Groover, 87].

2.2.4 Breve Consideração às Configurações

Os sistemas de fabrico baseados em células ou em *FMS* têm como objectivo comum a produção de pequenos/médios lotes de peças de uma forma flexível. Possuem perspectivas diferentes de como alcançar tais objectivos. Contudo, em alguns casos, torna-se difícil distinguir as suas fronteiras. No que diz respeito aos *FMS*, estes baseiam todo o seu funcionamento num elevado grau de flexibilidade, considerando os recursos como uma unidade atómica (máquina, fixação, etc.) tornando o sistema altamente dependente de um controlo extremamente complexo e

eventualmente pesado. Capaz de assegurar deste modo a capacidade de conciliar e organizar toda esta potencial flexibilidade em acções que levem à utilização dos recursos de uma forma eficiente. Por seu turno, as células de fabrico, partem de um princípio organizacional que reduz a complexidade do problema e facilite a sua lógica de controlo [Black, 91]. O seu núcleo é composto por um conjunto de recursos agrupados de forma a tornar fluído, natural e facilmente compreensível o processo de fabrico. O próprio conceito de célula de fabrico não é restritivo ao ponto de se poder avançar para conceitos de células flexíveis de fabrico. Porém, a terminologia "célula de fabrico" não significa falta de flexibilidade. Trata-se antes a designação de um subconjunto de células de fabrico altamente automatizadas e com um grande grau de flexibilidade possível de ser integradas como elementos constituintes de um FMS [Rembold, 93], susceptíveis de transportar consigo vantagens decorrentes da definição de célula de fabrico. Esta integração tem muito a ver com a filosofia de controlo e será referida mais adiante.

2.3 O Modelo da Empresa

2.3.1 Introdução

Na secção anterior abordou-se o sistema produtivo da empresa na vertente organizacional e suas tendências. Contudo, fazendo este parte integrante da empresa, não pode ser desgarrado da estrutura da mesma. Em consequência ir-se-á descrever modelos que agregam os diversos níveis constituintes da estrutura da empresa e que cooperam para o alcance dos seus objectivos. Essa estrutura pode ser comparada a uma pirâmide seccionada em camadas funcionais. Ver figura 2.3.

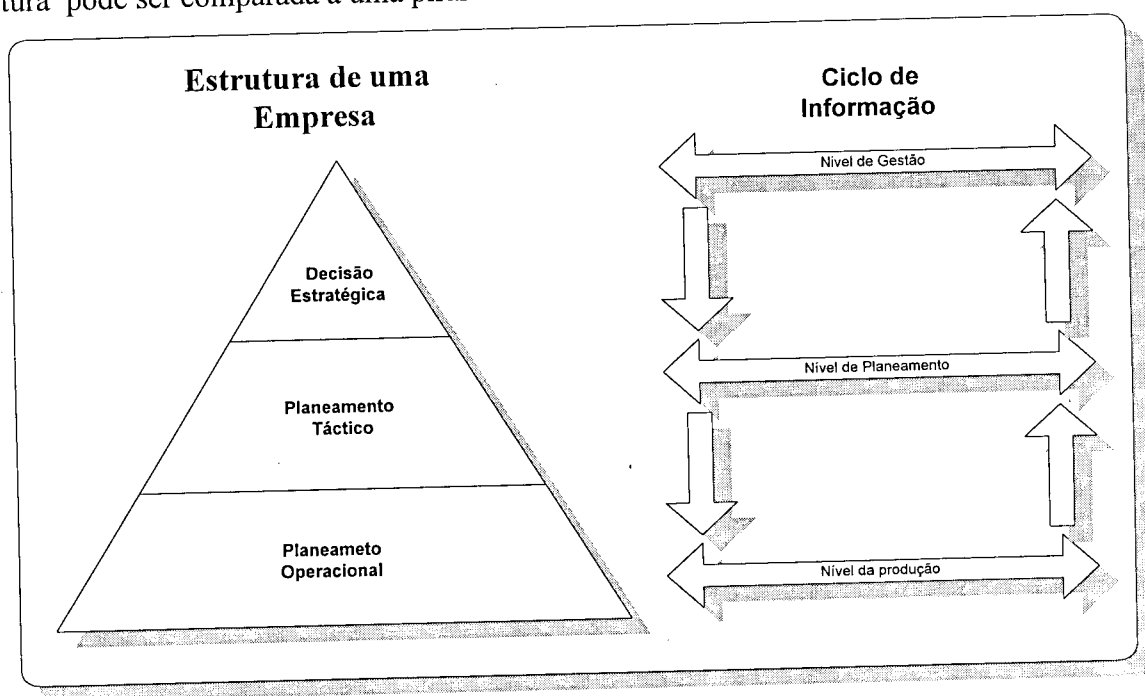


Figura 2.3 - Estrutura de uma empresa e ciclo de informação associado.

O topo da pirâmide é ocupado pelo nível de gestão, responsável por estabelecer as estratégias e tomar decisões quanto à direcção em que a empresa deve prosseguir os seus objectivos. O nível intermédio é desempenhado pelo planeamento tático, que fazendo uso das orientações do nível superior (gestão), produz um plano a ser implementado pelo nível de produção. Este último é responsável pela implementação das directivas contidas no plano, que levando a cabo as tarefas preconizadas serão a contribuição final para alcançar os objectivos da empresa: *produzir o necessário, nos prazos indicados, com a qualidade e preço desejável.*

Todas as acções desempenhadas na empresa estão intimamente ligadas ao fenómeno de geração e consumo de informação que é partilhada pelas diversas entidades da empresa. O bom desempenho das actividades na empresa deve-se em muito à forma como a informação é difundida. Esta não é somente trocada no interior de cada nível comportando-se como uma camada estanque para os restantes níveis. Antes, esta processa-se de igual forma, tanto no sentido descendente onde predomina o "como fazer", como no ascendente que efectua a realimentação, dando uma indicação aos níveis superiores do "estado actual" ou de "como foi feito" possibilitando-lhes avaliar a qualidade das suas decisões, assim como fraquezas das mesmas e agir em conformidade.

A representação anterior é demasiado abstracta, sendo a sua estrutura alvo de um grande esforço de estudo com o intuito de a modelizar de forma suficientemente genérica, desenvolvendo plataformas que permitam a utilização cada vez mais eficiente da informação, quer no controlo do processo de fabrico, quer na geração de planos associados ao mesmo.

A introdução do computador no ambiente fabril abriu novos horizontes com a transferência de execução de tarefas extremamente repetitivas e consequente libertação do Homem para tarefas mais criativas e de maior valor acrescentado. Esta capacidade de execução de tarefas repetitivas ofereceu também um leque mais alargado de técnicas aplicáveis em ambiente fabril, que estavam postas de parte dado a dificuldade de implementação. A aplicação pura simples de novas técnicas só por si não fornecem todo o potencial que se espera delas quando se pensa em empregá-las, tornando-se num factor desmotivante e em muitos casos inibidor da sua utilização por certos agentes. Estas precisam de estar em sintonia com os objectivos da empresa o que reforça a necessidade de modelos que sirvam de orientação à sua aplicação. Várias entidades entre as quais se encontram marcas, organismos internacionais e centros de investigação, prestam a sua contribuição para a evolução de tais modelos e aplicabilidade de novas técnicas.

2.3.2 O Contributo da Siemens

A Siemens conhecida pela sua vasta oferta de aplicações tanto em hardware como software para utilização no ramo industrial, tem uma concepção da empresa e ocupação da sua estrutura hierárquica por blocos funcionais. Estes encontram-se ligados por um fluxo de informação

exigindo uma precisa definição de interfaces e protocolos responsáveis pela troca de informação ao nível dos diversos blocos que compõem a hierarquia da empresa. Estes podem ser observados na figura 2.4.

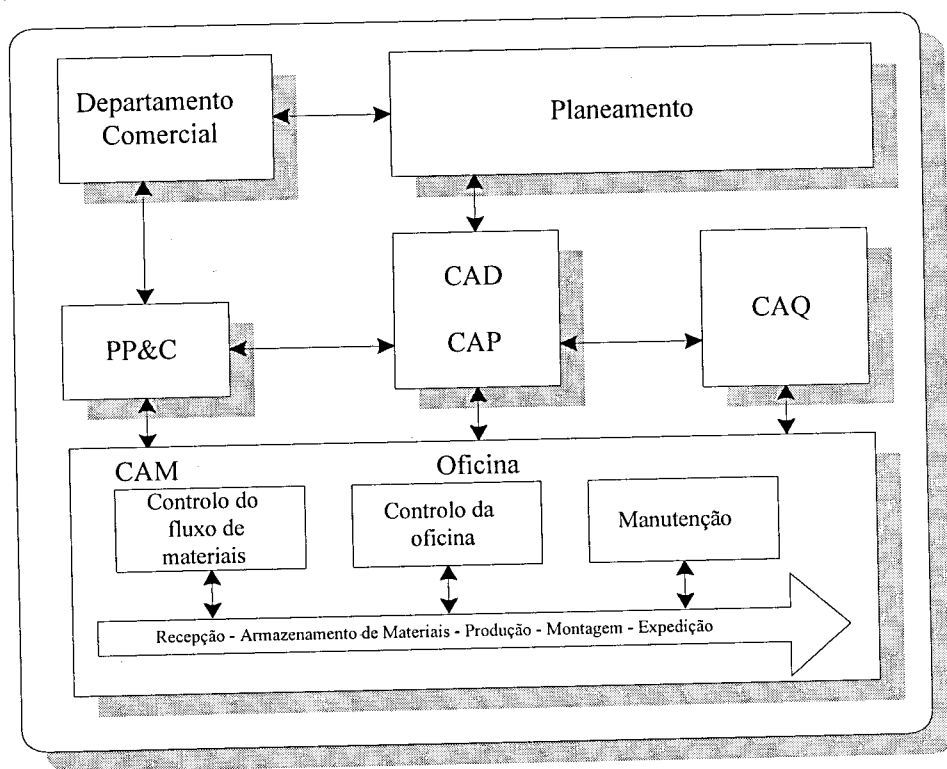


Figura 2.4 - Conceito CIM do modelo da empresa segundo a Siemens.

A perspectiva da Siemens engloba as diversas áreas da empresa, desde a administração ao controlo da produção, incluído diferentes blocos funcionais abrangendo diversas competências [Rembold, 93]:

- **Bloco de planeamento.** Responsável pelo planeamento estratégico ao nível da gestão de pessoal, da produção, do produto e ajuda à decisão em sectores de investimento e finanças, para tal baseando-se nas informações provenientes de outros blocos constituintes do modelo e transmitindo-lhes as directivas a seguir;
- **PP&C (Production Planing and Control).** Desempenha o papel de entidade organizadora da actividade produtiva, ocupando-se de tarefas como o planeamento dos recursos que entrevêm na produção, escolha dos materiais necessários, definição do tamanho dos lotes a produzir, definição das etapas de produção, emissão de ordens de fabrico e controlo de produção;
- **CAD (Computer Aid Design).** Responsável pela concepção de documentos de engenharia, desenhos e programas de controlo numérico. Quando equipado de um módulo CAE (Computer Aid Engineering) permite a simulação e teste;

- **CAP (Computer Aid Planning).** Tem como função a geração de planos para a produção de um determinado produto, descrevendo o processo e sequências da sua produção;
- **CAQ (Computer Aid Quality control).** Responsável pelos requisitos de qualidade e seu controlo, pela execução de planos de testes, geração de documentação e relatórios de qualidade;
- **CAM (Computer Aid Manufacturing).** Ocupa-se com a função de controlo ao nível da oficina, o qual inclui controlo do fluxo de materiais, seu transporte, armazenamento e bufferização durante o processo de produção. Faz um planeamento rigoroso da utilização do equipamento e controlo da execução e aquisição do estado das tarefas. Assegura a monitorização dos equipamentos, o diagnóstico e recuperação de falhas, assim como a manutenção preventiva de forma a evitar paragens não programadas, com objectivo conseguir uma produção contínua desde a recepção dos materiais ao embalar dos produtos finais e sua expedição.

2.3.3 O Contributo da DEC

O modelo preconizado pela Digital é semelhante ao da Siemens, sendo as diversas tarefas que a empresa executa modelizadas por um conjunto de blocos funcionais [Rembold, 93].

Neste modelo são facilmente identificados os módulos responsáveis pelos diferentes grupos hierárquicos da empresa, abrangendo a área de planeamento estratégico onde se encontram blocos como marketing, orçamentação e vendas. O planeamento operacional é representado por funções de escalonamento, planeamento e gestão de materiais. O nível operacional está relacionado com a produção e montagem. Finalmente, encontra-se um módulo abrangente de toda a estrutura da empresa responsável pelo "problema" da qualidade, quer na vertente dos seus requisitos quer no seu controlo.

A ligação entre blocos e o tipo de informação trocada está bem definida. A Digital definiu rigorosamente a forma como se processa a troca da informação, utilizando para tal um modelo como referência, que é uma extensão do modelo OSI (Open Systems Interconnection), este último encontra-se referido em §2.4.2

Este modelo permite que as entidades que pretendam trocar informação, o façam segundo regras bem definidas, constituindo uma base para comunicação em ambiente aberto heterogéneo. As aplicações utilizam estas facilidades para a troca de informação entre si, encontrando-se assim no topo como utilizador finais de um modelo seccionado em camadas com diferentes responsabilidades. Neste processo de permuta, a informação percorre os vários níveis quer no sentido ascendente recepção de informação e dados de controlo, quer no sentido descendente, no

qual, à informação a enviar são adicionados dados de controlo que irão ser usados pela pilha que constitui o processo de comunicação da entidade receptora. O modelo que a Digital apresenta fornece serviços importantes, tais como:

- **A interface com o utilizador.** Como já foi referido possibilita a troca de informação entre duas entidades oferecendo-lhe um sistema de troca de dados transparente;
- **A camada de processamento.** Presta serviços de gestão do processo de comunicação, possibilitando ao utilizador trocar simultaneamente caso necessite um ou mais processos/mensagens não necessariamente do mesmo tipo;
- **Camada de gestão de dados.** Fornece serviços relacionados com funções de gestão de dados num sistema distribuído tendo em conta problemas de consistência, segurança e rigor dos dados que são transaccionados.
- **Camada de rede de comunicação.** Camada física responsável pela conexão e acesso à rede de comunicações.

2.3.4 O Contributo do Projecto ESPRIT CIM-OSA

A Comunidade Europeia, com o intuito de aumentar o nível da competitividade da indústria dos seus estados membros, lançou vários projectos de investigação e desenvolvimento em várias áreas, nomeadamente, na área de fabrico e o seu ambiente.

O "Esprit" preconiza uma arquitectura aberta (OSA Open System Architecture) que permita configurar diferentes instalações fabris a partir de módulos genéricos. Através dos conceitos do CIM-OSA, torna-se possível estabelecer uma arquitectura de CIM (Computer Integrated Manufacturing), para diferentes aplicações fabris, a partir dos blocos básicos e regras que constituem este modelo [Rembold, 93].

O CIM-OSA apresenta uma estrutura de modelização de empresa em forma de cubo, no qual estão representados os diferentes aspectos e vistas de uma empresa [Zwegers, 95], como se mostra na figura 2.5.

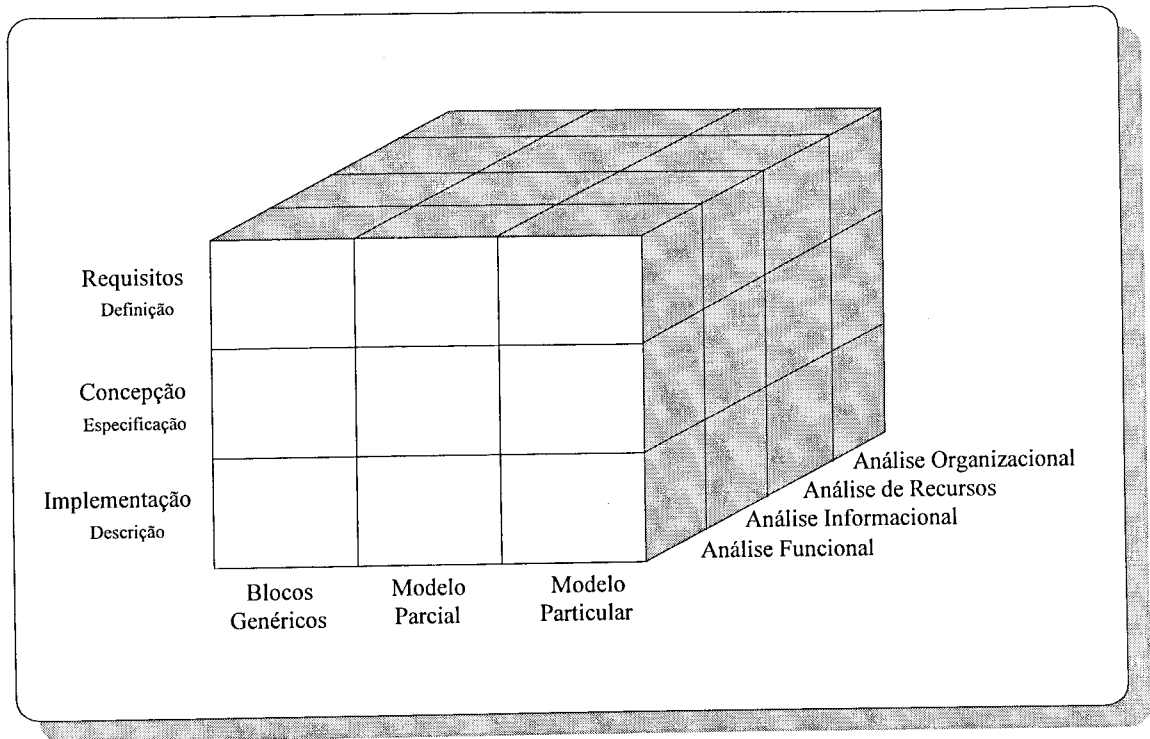


Figura 2.5 - Estrutura de modelização da empresa, apresentado pelo CIM-OSA.

As três dimensões do modelo representam as diferentes perspectivas de abordagem do problema da modelização da empresa e especificação do seu sistema de fabrico. Estas incluem:

- **Grau de particularização.** Determina a profundidade do modelo, podendo ir do bloco genérico a um modelo particular;
- **Alcance do modelo.** Está relacionado com o ciclo de vida do projecto do sistema, podendo este percorrer as diversas etapas, desde a definição de requisitos até à descrição de implementação, passando pela sua especificação;
- **Vistas.** Está relacionado com a possibilidade de trabalhar com diferentes submodelos que constituem o sistema. Estes incluem:
 - **Análise funcional.** Descreve o comportamento estático e dinâmico dos sistemas que compõem a empresa;
 - **Análise informacional.** Descreve a informação necessária a cada função do sistema;
 - **Análise de recursos.** Define os recursos e suas relações em termos funcionais, organizacionais e de informação;
 - **Análise organizacional.** Descreve a estrutura da empresa.

2.3.5 O Contributo do NIST (NBS)

O National Institute of Standards and Technology (NIST) também conhecido por National Bureau of Standards (NBS), advoga um modelo hierárquico com vários níveis de competência bem definida [Bauer, 91], [Senehi, 91], [Senehi, 92].

O modelo comporta uma estrutura multicamada com cinco níveis, como se mostra na figura 2.6, que engloba as várias áreas funcionais que integram o sistema produtivo da empresa, decompondo o processo de fabrico em subtarefas situadas num nível elevado até a um conjunto de primitivas no nível inferior. Todas concorrem para o mesmo fim, pretendendo a simplificação do problema e a sua aplicabilidade a novas técnicas no controlo do processo de fabrico contribuindo de forma activa para o alcance dos objectivos da empresa:

- **Fábrica.** Nível superior da hierarquia, abrangendo o conceito da fábrica como um sistema que é constituído por três subsistemas:
 - **Engenharia da produção.** Responsável pela área de engenharia e planeamento. Na primeira são executados os desenhos, simulações, e de uma forma genérica toda a concepção documentos de engenharia relativos aos diversos produtos. O segundo está incumbido desenvolver planos do processo de fabrico situáveis para os diversos níveis dos sistema de controlo de produção;
 - **Gestão da informação.** Responsável pela implementação de um sistema que forneça a informação que abrange toda a estrutura de produção no qual as vertentes relativas ao controlo da produção sejam bem caracterizados, quer ao nível dos dados de controlo, quer relativamente ao estado da evolução das diversas tarefas que constituem o processo de produção;
 - **Controlo da produção.** Responsável pelo controlo do processo de produção, encontrando-se este sistema divididos nos quatro dos cinco níveis do modelo:
 - **Oficina.** Responsável pela coordenação das actividades ao nível da oficina efectuando para tal uma gestão de recursos e controlo de tarefas aí decorrentes;
 - **Célula.** Desempenha o controlo dos processos no interior da célula, que incluem funções como sequenciamento das tarefas, transporte e manuseamento de materiais;
 - **Estação de Trabalho.** Nível relacionado com o conjunto de equipamentos destinados à realização de uma ou mais tarefas que integram o processo de fabrico. Neste domínio podem incluir-se máquinas de ferramentas, robots, buffers, manipuladores e computadores de controlo;

- **Equipamento.** Este nível está intimamente ligado a dispositivos constituintes das estações de trabalho e que desempenham a tarefa de controlo das mesmas. Entre o equipamento referido a este nível encontram-se: autómatos programáveis (PLC Programmable Logic Controllers), controladores remotos (RC Remote Controllers), CNC (Computer Numerical Controllers).

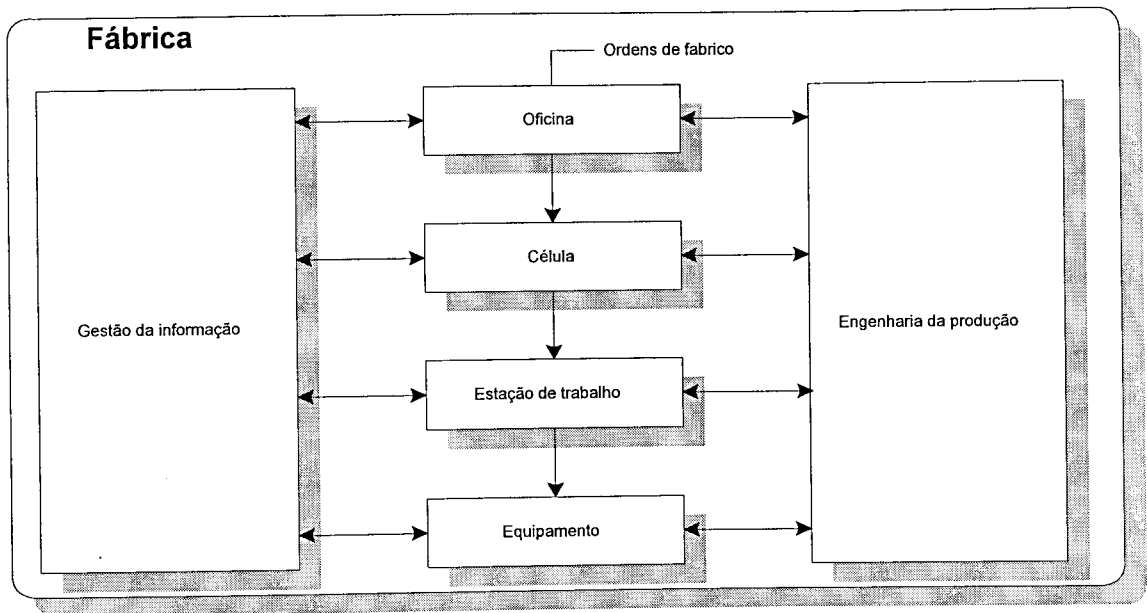


Figura 2.6 - Estrutura hierárquica da empresa segundo NIST.

2.3.6 O Contributo ISO

O modelo preconizado pelo International Organization for Standardization (ISO) é similar ao definido pelo NIST [Bauer, 91], baseando-se na decomposição de um problema complexo que é inerente à estrutura da empresa em subproblemas, nos quais o grau de detalhe das acções e os seus requisitos temporais vão aumentando à medida que descemos na hierarquia. No topo da hierarquia é comum a existência de um menor número de acções com horizontes temporais alargados (meses a anos), contudo com grande impacto em toda a estrutura da empresa. À medida que se vai descendo na hierarquia, o grau de importância das acções diminui em termos de influência na referida estrutura, reflectindo-se o seu impacto de uma forma mais localizada, acompanhado pelo aumento do número de acções com necessidade de tomada de decisões mais exigentes em termos temporais, podendo as mesmas ocorrer em tempo real. Dentro desta filosofia a ISO apresenta um modelo com seis camadas (níveis) (figura 2.7):

- **Empresa.** Nível responsável pela definição dos objectivos da empresa, ou seja a sua missão;

- **Fábrica.** Tem como função assegurar a implementação das tarefas consagradas nas directivas do nível hierárquico superior e providenciar a realimentação deste com informação relevante do estado de aplicação e sua evolução. Executa funções de gestão de informação ao nível da fábrica, concepção de planos de engenharia e escalonamento da produção;
- **Oficina.** Nível responsável pela afectação de recursos às diversas tarefas e coordenando a sua execução ao nível da oficina;
- **Célula.** Este nível está incumbido de providenciar a coordenação das tarefas ao nível da célula, sequenciando-as pelas diversas estações de trabalho. É responsável pela análise de recursos, tomada de decisão quanto ao encaminhamento dos itens pelas estações de trabalho assim como ordenar lançamento de tarefas para uma determinada estação (*dispatching*), monitorizar o estado de execução das diversas tarefas lançadas;
- **Estação de Trabalho.** Desempenha a função de coordenação das tarefas executadas por um conjunto de estações de trabalho, entendendo-se por estação de trabalho: máquinas de ferramentas, robots, manipuladores, mesas de transferência, etc;
- **Equipamento.** Nível responsável pela execução das tarefas, ou seja execução de programas de controlo numérico, programas de autómatos programáveis, controladores remotos, etc, que efectuem o controlo do desenrolar das tarefas desempenhadas pelas estações de trabalho na transformação dos materiais em produtos acabados ou semi-acabados.

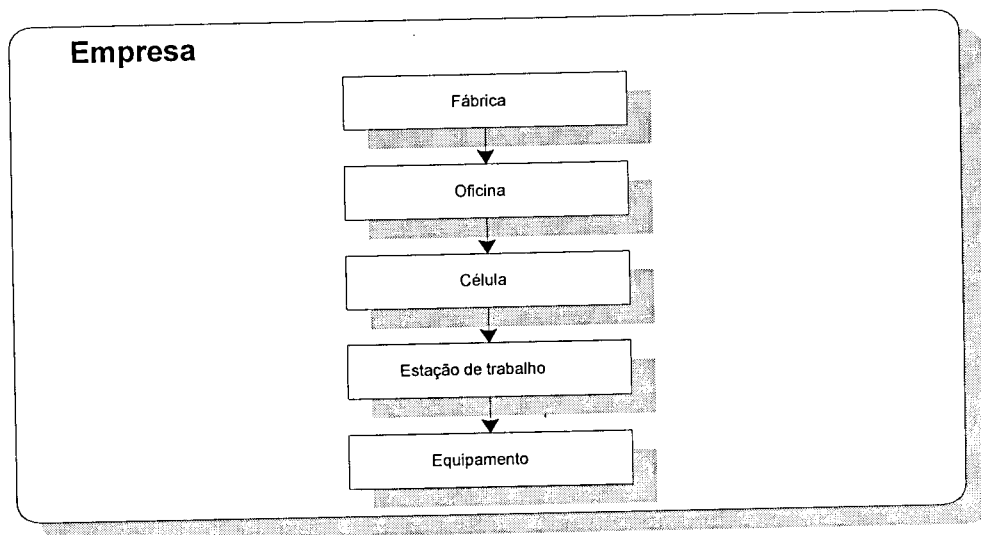


Figura 2.7 - Arquitectura hierárquica da empresa, defendida pela ISO.

2.3.7 Conclusão

Os sistemas de fabrico fazem parte do nível operacional que por sua vez está englobado numa estrutura mais complexa que é a empresa. Esta tem como objectivo produzir o necessário, nos prazos indicados, com a qualidade e preço desejável. Desta forma, é requisito importante a coordenação dos sectores da empresa.

Nesta secção foi referida a necessidade de conhecimento da estrutura da empresa e as diversas competências de cada nível, para o seu correcto funcionamento. Só assim é possível estabelecer modelos que sirvam como referência à implementação de estratégias de planeamento e controlo na estrutura da empresa. Foram também descritos os contributos de diversas entidades, na concepção de modelo que descreve a estrutura de uma empresa. Entre os vários contributos destacam-se duas filosofias diferentes.

Uma, é apresentada por empresas fornecedoras de soluções de hardware e software para a indústria. Apresenta o modelo de empresa inserido num conceito de CIM, na qual a sua estrutura é composta por módulos funcionais ligados por canais de informação. Estes módulos representam as funções desempenhadas nos diversos sectores da empresa, fazendo estes parte de soluções apresentadas aos seus clientes.

A outra, refere-se a modelos apresentados por instituições de investigação e standards, que apresentam modelos de referência e que servem como suporte ao desenvolvimento de diversas aplicações ao nível da empresa, nomeadamente aplicações de planeamento e controlo. Estes modelos centram mais a sua atenção, na divisão em níveis de competência e informação usada nos mesmos.

2.4 O Sistema de Comunicação

2.4.1 Introdução

O domínio do fluxo de informação e sua correcta utilização é um dos aspectos principais ao bom funcionamento de qualquer organização. Para o efeito analisou-se a estrutura da empresa e referiu-se o fluxo da informação ao longo da mesma em §2.3.

Ao nível operacional, e nomeadamente ao nível do controlo do sistema de produção, o controlo da informação desempenha um papel importante na definição da sua estrutura e evolução de novas técnicas de controlo. Consequentemente, aspectos relacionados com a forma como a informação está acessível, a facilidade de manuseamento e sua transmissão entre agentes que intervêm no processo produtivo, são pontos que se revestem de grande importância.

As evoluções tecnológicas, nomeadamente ao nível da microelectrónica e do ramo das comunicações, abriram novas perspectivas à utilização dos sistemas informáticos em ambiente industrial.

No início da década de 70 foram introduzidas no mercado um largo espectro de redes de comunicação e de protocolos específicos orientados aos equipamentos, propostos pelos diversos fabricantes. A interoperabilidade das soluções propostas em ambiente industrial tornou-se problemática, conduzindo muitas das soluções implementadas, às denominadas ilhas de automação. O esforço de diferentes instituições no sentido gerar standards reconhecidos pelos diversos fabricantes e sua validação, tem contribuído para a gradual aceitação e redução dos riscos de os utilizadores ficarem dependentes de um fabricante, relativamente à implementação de soluções de automação.

2.4.2 O Contributo da ISO

A proliferação de diversos sistemas de comunicação caracterizada pela associação do seu próprio protocolo e forma específica de como é transferida a informação, traduziu-se na incompatibilidade entre muitas das arquitecturas de protocolos de comunicação em ambiente industrial. A resolução desta incompatibilidade entre diferentes participantes no processo de comunicação implica a concepção de interfaces de comunicações que tornam o processo de troca de informação pesado e com a consequente quebra de desempenho.

2.4.3 O Modelo OSI

A International Organization for Standardization (ISO) no intuito de normalizar os protocolos de comunicações, estabeleceu uma arquitectura de referência Open System Interconnection (OSI), de forma a promover um standard que torne os sistemas de comunicação independentes dos diversos fabricantes. A arquitectura apresentada pela ISO está definida numa estrutura hierárquica em sete camadas, como se pode ver pela figura 2.8. O modelo é baseado nos seguintes princípios [Rembold, 93]:

- As funções de comunicação estão divididas em camadas;
- Cada camada fornece serviços específicos;
- A camada N+1 que se encontra acima da N, faz uso dos serviços desta para implementar as suas funções;
- A comunicação entre camadas homólogas de diferentes sistemas, é definida por protocolos ISO.

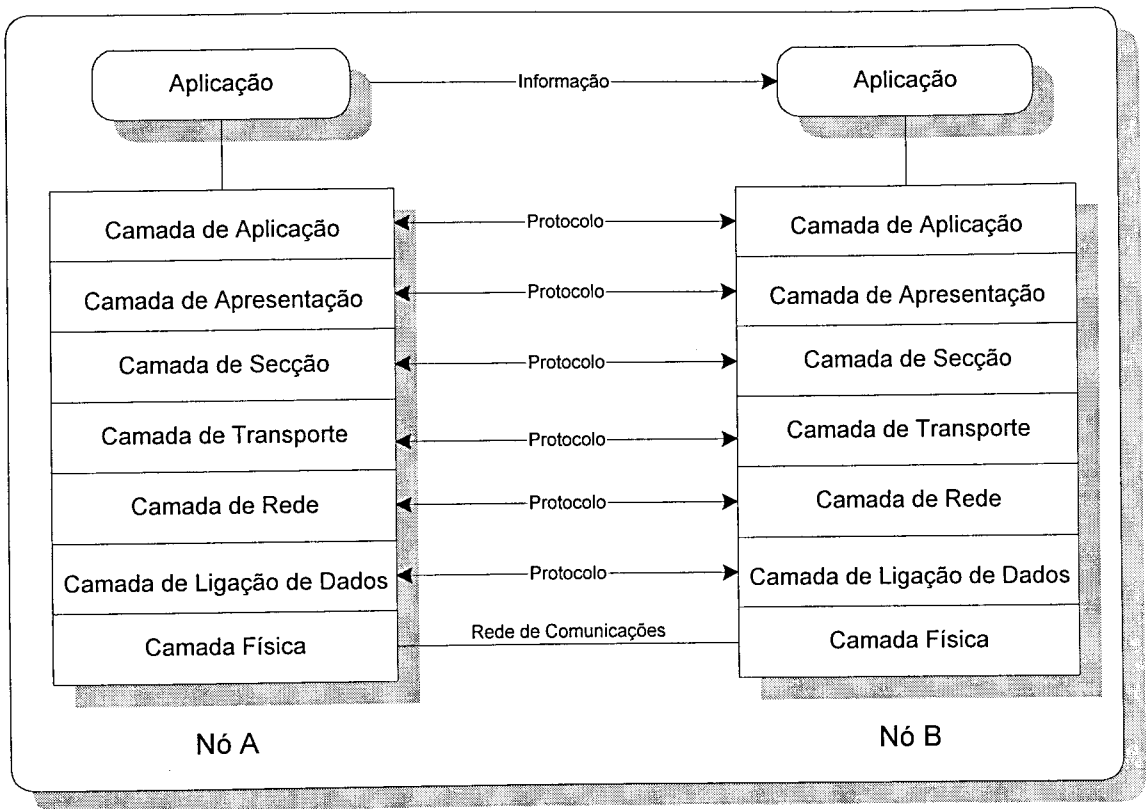


Figura 2.8 - Modelo de referência OSI.

O modelo OSI estabelece assim uma estrutura de referência para o desenvolvimento de protocolos de comunicações standards. A existência destes protocolos é de extrema importância em ambiente fabril, dado este se caracterizar pela necessidade de acesso a equipamentos de diferentes tipos e vendedores. Uma abordagem aprofundada deste modelo pode ser analisada em [I'Anson, 93].

2.4.4 A Utilização de MMS na Camada de Aplicação

O acesso aos diferentes equipamentos instalados na oficina, constitui um dos grandes problemas, quando existe a pretensão de os inserir numa estrutura de controlo complexa. Esta dificuldade deriva da especificidade dos diversos equipamentos, da sua arquitectura ser regida por modelos propriedade dos diversos fabricantes e da baixa capacidade de manuseamento de estruturas de dados complexas dos seus controladores. Entre estes dispositivos de controlo encontram-se os PLC's, CNC's e RC's.

A ISO em colaboração com a International Electrotechnical Commission (IEC) estabeleceram o standard 9506 (Manufacturing Message Specification (MMS)). O MMS encontra-se posicionado na camada sete do modelo OSI (camada de aplicação) e estabelece o suporte para acesso aos diferentes dispositivos de fabrico. Este permite modelizar o equipamento em termos de objectos [Nussbaumer, 91], que podem ser manipulados de forma conveniente pelos

computadores que compõem o sistema de controlo. O MMS estabelece um conjunto de serviços que podem ser usados pelas aplicações como interface para os diferentes dispositivos de controlo. Desta forma, o MMS gera um nível adicional de portabilidade entre os diversos equipamentos, e aumenta a flexibilidade de escolha de equipamentos de vários fabricantes.

2.4.5 O Contributo do CNMA

No âmbito do programa ESPRIT, a Comissão das Comunidades Europeias lançou o projecto CNMA (Communication Network for Manufacturing Applications), em que participam diversas instituições, incluindo fabricantes de equipamento, de software, empresas e institutos de investigação, nos quais se inclui a Universidade do Porto, com vista a manter competitivas as empresas europeias na área das comunicações industriais.

O CNMA teve como objectivo implementar, validar soluções e promover standards de comunicações em ambiente de fabrico, tendo como referência o MAP (Manufacturing Automation Protocol), sendo este um perfil funcional do OSI.

O programa ESPRIT nas várias fases do projecto CNMA lançou CCE-CNMA. Este projecto definiu, implementou e validou, uma plataforma para desenvolvimento de aplicações em ambiente industrial, denominada CCE (CIME Computing Environment) [CCE-CNMA, 94], permitindo esta plataforma aceder aos diversos objectos existentes em ambiente fabril, por exemplo, através de acesso a serviços MMS, ou acesso a bases de dados remotas, de forma transparente.

2.4.6 O Impacto na Arquitectura de Controlo

A acção de controlo requer uma quantidade apreciável de informação do processo de fabrico e das entidades controladas. Desta forma torna-se evidente a importância da existência de sistema que suportem tais requisitos. A sua existência é ainda mais realçada devido à heterogeneidade dos equipamentos e sistemas encontrados em ambiente fabril.

A concepção de arquitecturas de controlo está fortemente dependente do sistema de informação que a suporta [Ditts]. Este condiciona sobretudo a sua estrutura, natureza das técnicas aplicadas e sua eficiência. Assim o esforço das diversas entidades com objectivo de normalizar e validar soluções que permitam a utilização de informação de forma distribuída em ambientes heterogéneos, deve ser entendido como o suporte para o desenvolvimento de estruturas de controlo.

2.5 As Arquitecturas Básicas de Controlo

2.5.1 Introdução

OS sistemas de fabrico foram descritos em §2.2, como um conjunto de recursos dos quais se pretende o uso correcto e eficaz, de modo que este satisfaça os objectivos da organização. Verificou-se também a sua inclusão numa estrutura mais complexa, como é a empresa, e da qual foram apresentadas visões da sua modelização. Contudo, esses modelos deixam implícita a utilização de técnicas associadas ao seu controlo. Em seguida, serão descritos diferentes tipos de arquitecturas adaptadas ao desempenho de funções de controlo das diversas tarefas que ocorrem ao nível da oficina e célula de fabrico.

Genericamente existem quatro arquitecturas para controlo dos sistemas de fabrico:

- Centralizada
- Hierárquica
- Hierárquica modificada
- Heterárquica

2.5.2 O Controlo Centralizado

É a mais antiga das arquitecturas de controlo. Baseia o seu funcionamento na centralização das tarefas de planeamento e controlo, ver figura 2.9. Os sistemas que implementam esta arquitectura efectuem no mesmo nível todas as funções associadas ao processo de fabrico:

- Planeamento da produção, escalonamento das tarefas pelos diversos equipamentos que constituem a oficina;
- Transferência de parâmetros e programas com o código das operações a executar, para os controladores das máquinas;
- Controlo das diversas máquinas escaladas para o processo de fabrico;
- Coordenação do sistema de transporte, manuseamento e armazenamento de materiais, ferramentas, fixações e peças trabalhadas.

A concentração destas e outras tarefas pode numa primeira análise ser tentadora. No entanto há que ter em conta a complexidade inerente a um problema de coordenação de tarefas com necessidades específicas, diferindo entre si em grau de funcionalidade e em termos de requisitos temporais. Tarefas com horizontes temporais de dias a semanas partilham os mesmos recursos com tarefas que interagem com o sistema de forma complexa e necessitando da parte deste um atendimento em tempo real.

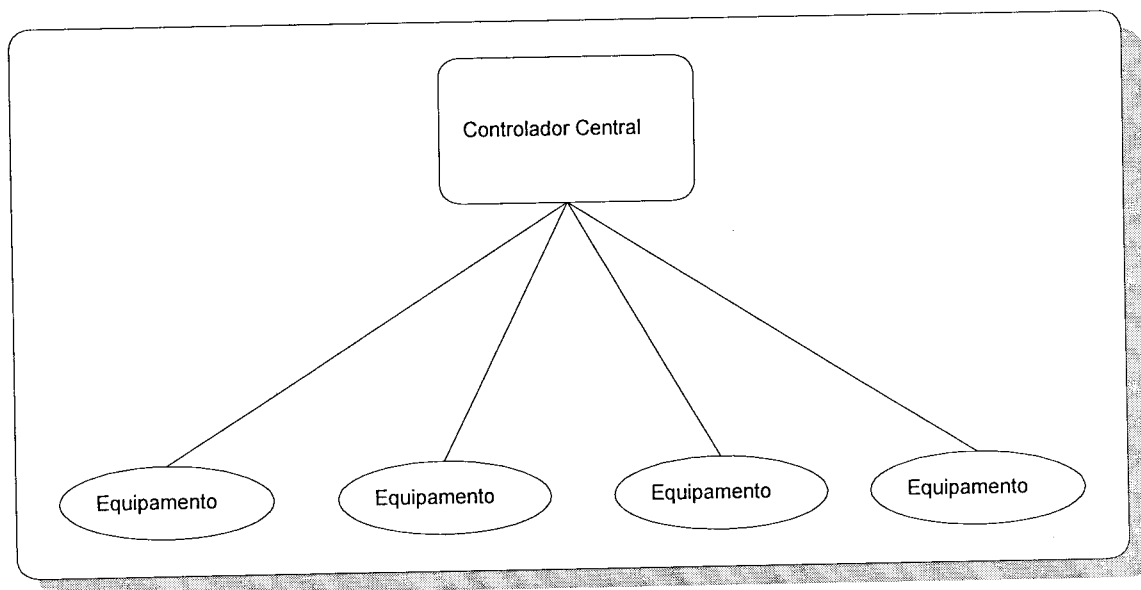


Figura 2.9 - Arquitectura centralizada.

A estruturação de um sistema, com elevada complexidade e necessidade de uma correcta utilização de grande volume de informação, muito heterogénea e de importância vital para o bom funcionamento do sistema, é difícil de conseguir de uma forma eficiente, dada a rigidez deste tipo de arquitectura, mostrando antes graves tendências para maus desempenhos. Sintomas desta tendência podem ser revelados pela má tolerância a falhas evidenciados nestes sistemas. Uma avaria localizada numa máquina devido à natureza centralizadora da arquitectura repercute-se na globalidade do sistema e pode implicar um novo planeamento das tarefas que estavam atribuídas às outras máquinas e recursos existentes na fábrica. Este é um caso concreto de como uma falha num dispositivo de fabrico causa o caos no sistema [Ainger, 94].

Uma outra característica deste tipo de arquitectura, prende-se com o facto de sistemas que procuram uma forma de fabrico flexível a curto prazo, buscando vantagens na possibilidade de configuração dos equipamentos para rápidas mudanças no processo de fabrico, venham por este meio e paradoxalmente a transformar a desejada capacidade, no principal ponto de inflexibilidade à mudança a médio/longo prazo, revelando-se esta de difícil transposição [Upton, 92]. Concretizando, se a empresa sentir necessidade de alterar a sua estratégia quer no sentido de diversificação da oferta, quer pelo aumento da capacidade, poderá surgir a necessidade de alterar a estrutura produtiva da empresa, quer pela adição de máquinas para o aumento da capacidade, quer pela introdução de novos equipamentos. Este tipo de alterações têm um impacto dramático em sistemas baseados nesta arquitectura, obrigando na maior parte dos casos a sua completa reformulação, podendo esta tornar-se impraticável do ponto de vista económico, dado a morosidade e grau de labor que implica tal tarefa aliada à necessidade de pessoal altamente classificado e conhecedor do processo de fabrico.

2.5.3 O Controlo Hierárquico

A decomposição das directivas dos níveis superiores da estrutura da empresa em subtarefas situáveis aos diversos níveis do sistema produtivo, gera uma hierarquia de tarefas, das quais as destinadas aos equipamentos ou utilizadores finais, são frequentemente dependentes exigindo coordenação para o correcto desenrolar das tarefas desejadas (exemplo: a carga de uma máquina de ferramenta por um robot).

Este tipo de arquitectura distribui o controlo por diferentes níveis, sendo constituída por um único controlador no nível superior da hierarquia. Nos restantes subníveis, cada controlador possui um supervisor do qual recebe comandos, e possui um número variável (maior ou igual a zero) de controladores subordinados [Senehi, 91], [Rembold, 93], como mostra a figura 2.10.

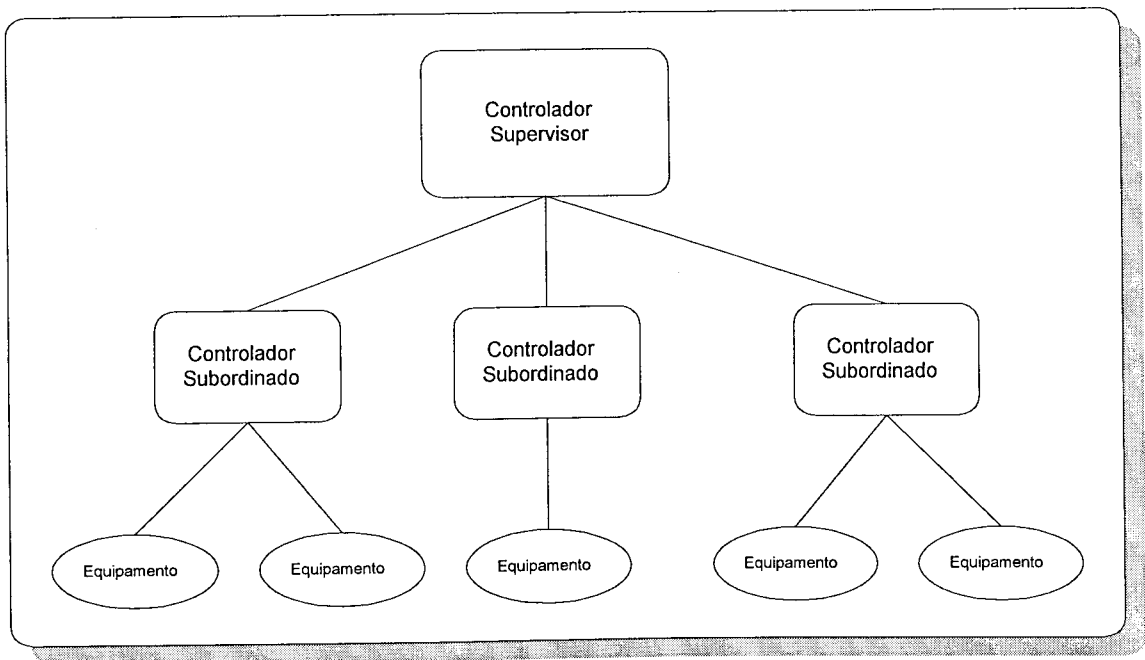


Figura 2.10 - Estrutura hierárquica com um único nível supervisor/supervisionado.

A divisão do problema de controlo da produção em subproblemas naturalmente mais simples situados para as diversas áreas de competência: oficina, célula de fabrico, estação de trabalho, etc, transporta consigo vantagens assinaláveis para o desempenho do sistema. A definição de áreas de influencia menores (células de fabrico) com a consequente redução de recursos a necessitarem de coordenação, simplifica a tarefa de controlo. Por exemplo, o número de estados das máquinas cresce exponencialmente como o número de máquinas. A limitação do seu número torna o controlo mais praticável. A delimitação do controlo em áreas de influência, tem outros benefícios. O impacto das falhas está mais circunscrito ao interior da célula, não se transmitindo de forma indesejável a todo o sistema. Apresentam também uma maior facilidade de análise e reacção a desvios ocorridos no processo produtivo.

O problema encontra-se distribuído pelos diversos controladores que integram a arquitectura, existindo uma relação de mestre/escravo entre os controladores supervisores e subordinados. Esta característica mestre/escravo, tem como consequência a existência de controladores dedicados ao mestre melhorando a performance do sistema. Contudo se o número de controladores subordinados aumenta, a complexidade desta arquitectura tende a aumentar [Black, 91].

2.5.4 O Controlo Hierárquico Modificado

Este tipo de arquitectura deriva de uma evolução da estrutura hierárquica, apresentando algumas semelhanças em relação a esta, como mostra a figura 2.11.

A relação supervisor/subordinado mantém-se, não sendo contudo tão rígida como na arquitectura hierárquica, não existindo neste caso, lugar à denominação de relação mestre/escravo entre os dois níveis [Diits].

A arquitectura hierárquica modificada difere em relação à hierárquica, fundamentalmente no grau da autonomia dos controladores subordinados. Esta autonomia confere-lhe um grau de liberdade que lhes possibilita tomarem decisões e cooperarem entre si, na realização das tarefas.

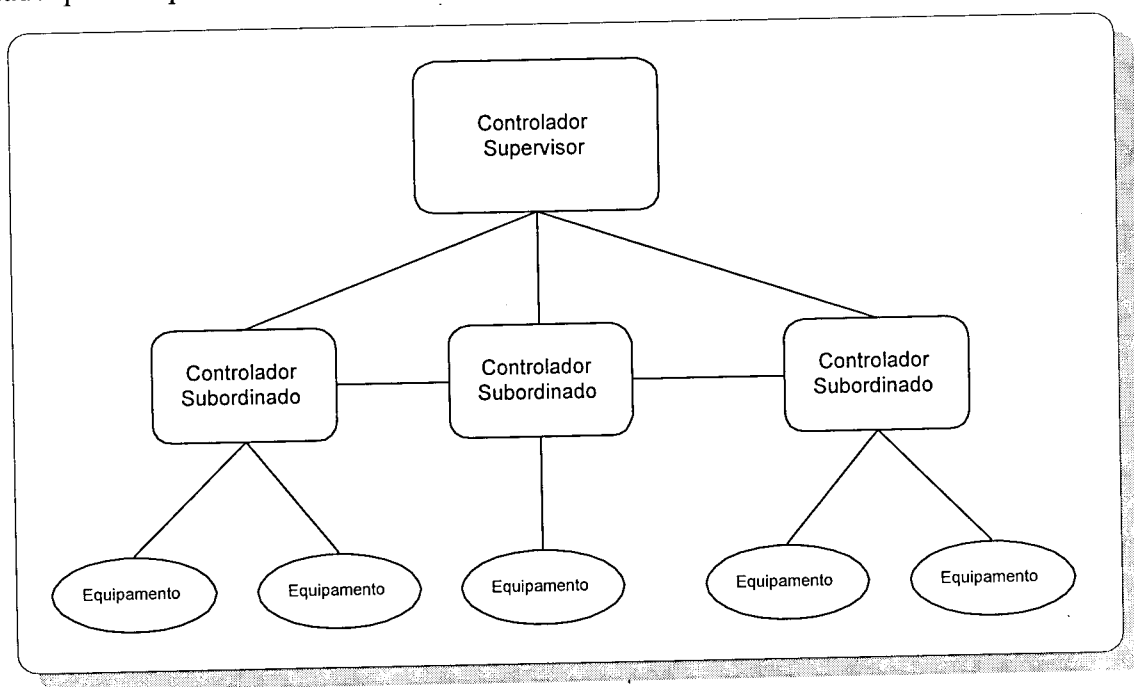


Figura 2.11 - Estrutura hierárquica modificada.

2.5.5 O Controlo Heterárquico

A característica principal desta arquitectura é a distribuição das tarefas e o aumento da autonomia dos controladores. As relações mestre/escravo ou centralização da supervisão são eliminadas. O controlador supervisor é retirado e as suas funções são distribuídas pelo sistema

(ver figura 2.12). As actividades de supervisão são desempenhadas pelos diversos controladores como um grupo cooperante. As tomadas de decisão são efectuadas localmente pelos processos detentores da informação. A análise do sistema com este tipo de arquitectura torna-se mais simples que no caso hierárquico, devido a não estar presa a uma estrutura rígida e com um elevado nível de interdependência como é o caso da estrutura hierárquica [Black, 91].

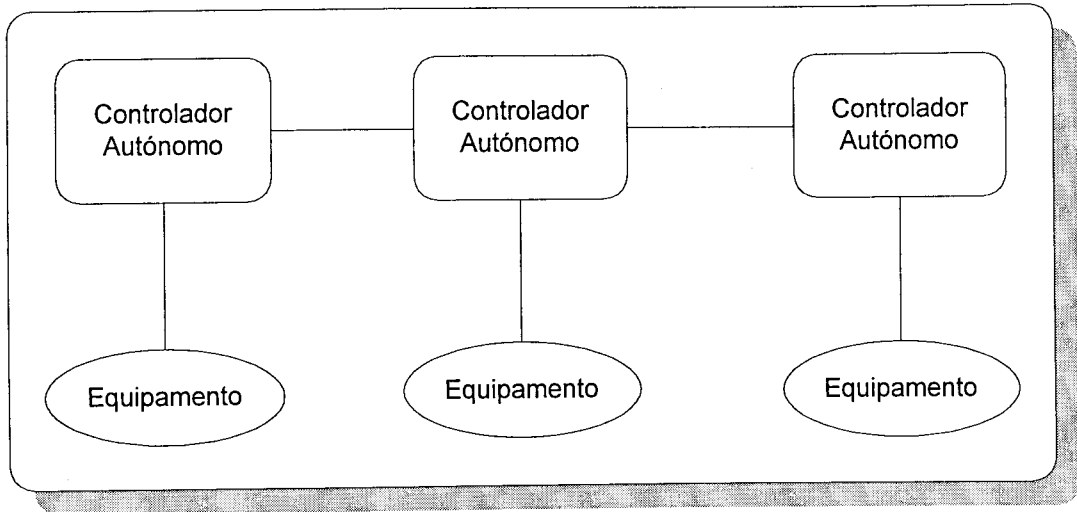


Figura 2.12 - Arquitectura heterárquica.

A alteração da perspectiva de um conjunto de recursos passivos, fortemente dependentes de controlo superior, praticada noutras arquitecturas, no qual estes são tratados como potências intervenientes no processo, para recurso activo, dotado de controlo próprio, com poder de decisão e que participa no processo de fabrico, transmite ao sistema um ganho de flexibilidade. O simples facto da unidade controladora estar afectada a um único recurso (máquina de ferramentas, robot, etc) propicia a concepção de um sistema modular, que simplifica a sua implementação e desenvolvimento de controladores com algoritmo de controlo do mesmo tipo [Black, 91].

O impacto causado por avarias, alterações no sistema, com adição de novos equipamento é simplificado não implicando modificações na estrutura de controlo. Basta retirar ou ligar à rede de comunicações o controlador do equipamento em causa.

2.5.6 Conclusão

Um sistema flexível de fabrico, tem como objectivo adaptar-se facilmente a variações no processo. A utilização eficiente de tais sistemas não é alcançada através do simples emprego, ao nível da oficina, de equipamentos que apresentem elevada capacidade de reconfiguração. Este facto deve-se à natureza complexa do processo de fabrico, exigindo um grande esforço de coordenação entre os diversos agentes, que participam no processo e que desta forma requerem uma grande componente de controlo. A dependência do sistema de fabrico da acção de controlo,

requer uma atenção cuidada na definição da arquitectura de controlo. Este facto é realçado pelo tipo de equipamentos usados no sistema de fabrico que o caracterizarem como sendo de capital intensivo. Desta forma, a sua evolução não se deve prender a questões estruturais relacionadas com a arquitectura de controlo, quer por dificuldade na alteração de estratégias de controlo, quer em termos de modificações ao nível físico do sistema de fabrico.

A evolução das arquitecturas de controlo tem vindo a processar-se no sentido do aumento da autonomia dos seus elementos constituintes, ou seja da arquitectura centralizada para a heterárquica. Este factor é de considerável importância para a eficiência do sistema de controlo e facilitando a sua alteração. Os referidos avanços só se tornaram possíveis, devido às significativas evoluções no sistemas de informação, nomeadamente na área dos sistemas distribuídos.

2.6 Conclusão

A competição em mercados exigentes requerendo oferta diversificada, pequena escala de produção e elevados índice de qualidade, obrigou as empresas que trabalham nestes mercados a reformularem a sua estrutura, orientando-a no sentido da eficiência e fácil reconfiguração do seu sistema produtivo.

Neste capítulo foram descritos os fundamentos básicos empregues nas modernas organizações, apontando para a correcta organização da estrutura da empresa:

- A utilização de sistemas de fabrico, facilmente adaptáveis a variações no processo;
- A importância da estrutura de controlo, como forma de garantir a coordenação dos diferentes recursos envolvidos no processo de produção e sua correcta utilização,
- A boa utilização da informação como suporte ao bom funcionamento de toda organização e nomeadamente ao estabelecimento de novas técnicas de controlo.

Ao nível da organização foi analisado o seu sistema produtivo através de duas configurações, os FMS e as células fabrico. Analisou-se a sua inclusão na estrutura da empresa, tendo esta sido alvo de modelos que a caracterizam, quer em termos de conceitos de uma filosofia de CIM, quer como apresentação de arquitecturas de referência, que possibilitam o desenvolvimento de diversas aplicações de planeamento e controlo na sua estrutura.

Em termos do suporte de informação e controlo do sistema produtivo, foram referidos os contributos das diversas instituições no sentido da apresentação e validação de sistemas informação, que permitam a interoperabilidade dos diversos sistemas que partilham a informação. Esta é essencial ao aparecimento de novas técnicas de controlo. A acção de controlo é de extrema importância nos sistemas de fabrico referidos, não só pela necessidade da correcta

utilização dos seus recursos, mas também pela considerável dependência que estes sistemas apresentam em relação à sua arquitectura. Estas têm sido alvo de estudo no sentido de reduzir estas dependências. Neste capítulo foram apresentadas características das arquitecturas de controlo nas suas quatro configurações básicas.

Parte II

Estudo de uma Arquitectura para um Controlador de Célula

A realização de tarefas, nas mais diversificadas áreas de actividade, tem subjacente a contribuição para a realização de algo de forma eficiente. A forma como as acções, são desencadeadas, coordenadas e realizadas, pressupõe importantes componentes de planeamento e controlo.

A importância da apresentação de um modelo que descreva e se adapte ao comportamento do sistema, possibilitando o seu uso como plataforma, na qual podem ser desencadeadas acções relevantes ao controlo do mesmo, levanta a necessidade de especificar uma tal estrutura.

No presente capítulo pretende-se apresentar um problema relacionado com a área de fabrico, mais concretamente, com uma arquitectura de controlo dos recursos que intervêm no processo e enunciar requisitos fundamentais que devem estar presentes na sua resolução. Será analisada a envolvente do problema de controlo. Esta comportará, uma comparação das arquitecturas básicas de controlo. Será ainda referida a motivação para a escolha do controlo celular e estudo deste, particularizando a sua interacção com o nível oficina. A finalizar será apresentada uma arquitectura de controlo, a qual realçará como aspectos importantes, a sua modularidade, autonomia dos controladores e ligação fraca entre os diversos intervenientes no sistema de controlo, nomeadamente com o sistema de gestão da célula. Desta forma, a arquitectura de controlo procura apresentar boas características de modificabilidade e extensibilidade.

Capítulo 3

Formulação de um problema de Controlo e Análise da sua Envolvente

3.1 Introdução

A necessidade de uma correcta gestão de recursos, no desempenho de tarefas, faz apelo à especificação de arquitecturas que possibilitem uma eficiente função de controlo. Uma boa acção de controlo não depende somente da aplicação de potentes e ajustados algoritmos de controlo, uma vez que o sistema (de controlo) está implicitamente ligado à arquitectura do mesmo. A capacidade de um sistema tomar decisões com um grau apreciável de eficiência está intimamente ligado com a forma de como essas responsabilidades estão divididas e coordenadas. Consequentemente, a arquitectura é um factor determinante na eficiência do sistema de controlo. Desta forma, a estrutura de controlo deve ser tomada como um factor de grande importância para a função de controlo do sistema, nomeadamente em termos de evolução. Assim, a arquitectura de controlo estabelece as fundações que definem os limites, de futuras mudanças no sistema que a implementa.

3.2 Formulação do Problema

Pretende-se especificar uma arquitectura para controladores de célula, os quais participam no controlo e coordenação de tarefas, como o manuseamento e processamento dos materiais que irão sendo transformados no decorrer de várias etapas, até se tornarem produtos acabados. O controlo destas tarefas pressupõe diversas tomadas de decisão em questões relativas aos planos

de escalonamento, encaminhamento, afectação de recursos, controlo do processo de transformação, etc.

A arquitectura de controlo a propor pretende ser suficientemente genérica e susceptível, de poder ser aplicável a uma variedade de cenários, onde exista a necessidade de controlo de equipamentos e recursos frequentemente encontrados ao nível da oficina. No entanto, pretende-se abordar neste trabalho o caso do controlo de células flexíveis de fabrico com elevado grau de automatização. Neste cenário, a intervenção directa do Homem em tarefas de operação de equipamentos é menor. A sua influência é transferida para uma área de supervisão e aproveitamento das suas capacidades, enquanto entidade de elevada flexibilidade e de fácil apreensão do processo, contribuindo desta forma para o enriquecimento em termos de inteligência do sistema. Pretende-se ainda caracterizar os diversos agentes que populam o sistema, bem como os requisitos em termos de informação para o controlo do processo. A interacção com os dispositivos de fabrico deverá decorrer através de protocolos reconhecidos como standards.

3.3 Análise de Requisitos

Os sistemas de produção flexível são de capital intensivo e resultam de uma tomada de decisão da empresa que a fundamenta em objectivos de natureza estratégica e operacional. Os objectivos estratégicos incluem a redução do tempo de produção (*throughput time* ou *lead time*), *stocks* e formação da base para uma estratégia CIM. Os objectivos do planeamento operacional incluem o elevado nível de utilização dos equipamentos, baixo *staff* e alta flexibilidade.

Em suma, todos os factores que contrariem o alcance de tais objectivos devem ser evitados, ou recuperar de forma elegante de tais situações, evitando assim a degradação da performance do sistema.

As características que definem um bom sistema de controlo, e mais concretamente controladores do processo de fabrico, prendem-se de uma forma geral com a sua disponibilidade para desempenhar as funções para que foram projectados de forma eficiente e com custos aceitáveis para a entidade que os suporta.

De seguida serão referidos os pontos orientadores que devem reger a especificação de uma arquitectura de controlo.

3.3.1 Segurança

O requisito de segurança do sistema de controlo, fornece uma indicação da probabilidade do sistema operar continuamente dentro dos parâmetros para o qual foi projectado, sem ocorrência de falhas [Diits]. Este indicador é de extrema importância, considerando que a ocorrência de

falhas num sistema de produção é uma situação grave e que acarreta elevados prejuízos. Devido às características do processo, tais situações apresentam geralmente grandes constantes de tempo na recuperação das falhas ocorridas. Os prejuízos causados podem ainda englobar perdas dos materiais que estavam a ser processados.

3.3.2 Tolerância a Falhas

As falhas são sempre indesejáveis e nunca deveriam ocorrer. O facto é que estas ocorrem podendo afectar gravemente o sistema e eventualmente paralisá-lo, devendo este por isso possuir a capacidade de recuperar de tais situações.

Um sistema diz-se tolerante a falhas quando possui capacidade de continuar em funções, mesmo que a sua performance seja afectada devido à falha. A recuperação de falhas é constituída essencialmente por quatro fases:

- **Detecção de erros;**
- **Recuperação de erros;**
- **Limitação e avaliação de danos;**
- **Tratamento de falhas.**

3.3.3 Modificabilidade e Extensibilidade

Uma característica importante na concepção de uma arquitectura de controlo diz respeito à sua capacidade de comportar alterações na sua estrutura. Esta capacidade pode fazer-se sentir de forma diversa, assumindo as seguintes designações:

- **Modificabilidade.** Um sistema é considerado modificável quando alterações na sua estrutura se processam de uma forma simples [Diits];
- **Extensibilidade.** Um sistema diz-se extensível quando a adição de novos elementos para aumento de capacidade e funcionalidade do sistema ocorra de forma simples [Diits].

Estes dois conceitos são de extrema importância na realização de uma arquitectura de controlo, dada a característica de capital intensivo dos sistemas de fabrico [Upton, 92]. A incorrecta consideração das características de modificabilidade e extensibilidade, durante a fase de projecto de um sistema de controlo, podem acarretar custos inportáveis na alteração do sistema, para adaptação a evoluções no mesmo. Exemplos:

- Modificação de estratégias de controlo como adaptação de controlo de qualidade, implementado em determinados equipamentos, de forma a detectar local e imediatamente deficiências de fabrico [Couturier, 92]. Esta modificação pode-se revelar de difícil implementação devido à estrutura de controlo ser eventualmente rígida e às diversas funcionalidades e lógica de controlo, estarem diluídas pela sua estrutura;
- O aumento da capacidade do sistema de fabrico, quer pela adição de equipamentos com novas funcionalidades, quer pelo reforço de capacidade, pode eventualmente implicar alterações profundas na estrutura de controlo, devido às interdependências das acções de controlo dos diversos equipamentos.

As modificações e extensões na estrutura de controlo podem eventualmente, tal como foi referido, tornarem-se incomportáveis para a empresa, dependendo das implicações que as alterações acarretam e naturalmente da forma como a arquitectura aceita essas alterações. Contudo, este tipo de alterações ocorrem com pouca frequência. Esta característica é usada também para denominar modificabilidade e extensibilidade por flexibilidade a longo prazo.

3.3.4 Reconfigurabilidade

A reconfigurabilidade representa a capacidade do sistema de controlo em adaptar-se a alterações no processo de fabrico. Esta capacidade de adaptação resulta da necessidade de produzir diferentes tipos de produtos, ou de recuperar de falhas num equipamento e consequente necessidade de reescalonar as tarefas pelas restantes máquinas.

A necessidade deste tipo de flexibilidade prende-se com as características do sistema de fabrico e com as exigências de determinados mercados, onde as variantes de um determinado produto, bem como o seu reduzido ciclo de vida, imperam.

A característica de fácil adaptação e reconfiguração da arquitectura controlo, é também denominada por flexibilidade a curto prazo.

3.4 Estudo da Envolvente do Problema

O controlo do sistema de fabrico engloba a coordenação das actividades que decorrem na oficina. Esta necessidade de coordenação apela às várias competências do sistema. Assim este é influenciado pelas componentes do sistema de fabrico bem como pela interacção entre os níveis da hierarquia da empresa, ver §2.3.5. O estabelecimento de uma arquitectura de controlo, deve portanto comportar um estudo da sua envolvente, quer ao nível das arquitecturas básicas, quer das características apresentadas pela configuração do sistema de fabrico. Acrescentando-se ainda o estudo da interacção entre o nível oficina e célula. Este estudo toma particular realce neste

trabalho: não só pela inerente necessidade de estudo das diversas interacções que ocorrem entre níveis da hierarquia da empresa, e mais concretamente da oficina, mas também pelo facto do presente trabalho se centrar na especificação de uma arquitectura para controlador de célula, e não de todo o sistema de controlo. Assim sente-se a necessidade de realçar esta fronteira.

3.4.1 Comparação das Arquitecturas Básicas de Controlo

A evolução tecnológica, nomeadamente na área da informática e comunicações, estabeleceu condições ao aparecimento de diversas arquitecturas de controlo.

Estas gravitam em torno de quatro estruturas básicas: centralizada, hierárquica, hierárquica modificada e heterárquica [Diits].

Estas arquitecturas foram apresentadas no capítulo anterior. De seguida será efectuada uma comparação dos quatro tipos de arquitectura relativamente ao seu funcionamento, eficiência, tolerância a falhas e modificabilidade.

3.4.1.1 Quanto ao Funcionamento

Este ponto pretende situar as diferentes arquitecturas de controlo, relativamente ao seu funcionamento.

Centralizada

Esta arquitectura caracteriza-se pela centralização de todas as tarefas relacionadas com o planeamento e com a gestão da informação relativa a todos equipamentos dispersos pela oficina. Nesta arquitectura, os comandos são enviados pelo controlador central aos diversos equipamentos fabris. Este controla, coordena a realização das tarefas na oficina e tomam decisões com base na informação recolhida nos diferentes equipamentos.

Hierárquica

A arquitectura hierárquica, caracteriza-se pela divisão do controlo pelos níveis: oficina, célula, estação de trabalho e equipamento. Esta arquitectura é conhecida pela sua estrutura em pirâmide, pela existência de controladores supervisores e subordinados, estabelecendo uma relação mestre/escravo entre si.

O supervisor (mestre) dita as tarefas a ser executadas pelos subordinados (escravos). No topo da pirâmide existe um único supervisor, responsável pela definição da estratégia e objectivos.

As ordens de controlo e decisões são operadas do topo para a base da pirâmide, processando-se no sentido ascendente o processamento da informação relativa aos resultados das operações.

Hierárquica modificada

Este tipo de arquitectura deriva de uma evolução da estrutura hierárquica, apresentando algumas semelhanças em relação a esta.

A relação supervisor/subordinado mantém-se, não sendo contudo tão rígida como na arquitectura hierárquica. Não existe, neste caso lugar para denominação de relação mestre/escravo entre os dois níveis [Diits].

A arquitectura hierárquica modificada difere em relação à hierárquica, fundamentalmente no grau da autonomia dos controladores subordinados. Esta autonomia confere-lhe um grau de liberdade que lhes possibilita tomarem decisões e cooperarem entre si, na realização das tarefas.

Heterárquica

A arquitectura heterárquica, caracteriza-se pela abolição do nível de controlo superior, fundamentando-se na total autonomia e cooperação dos controladores, que participam no processo de fabrico.

3.4.1.2 Quanto à Eficiência/Simplicidade

Um dos aspectos importantes na caracterização de uma arquitectura de controlo diz respeito à relação eficiência / simplicidade da sua implementação. Pretende-se aqui referir as características relativas à eficiente utilização dos equipamentos versus simplicidade de implementação das técnicas usadas no controlo.

Centralizada

O uso eficiente dos equipamentos e simplicidade da aplicação de técnicas usadas, variam com a dimensão do sistema a controlar [Ditts], [Upton, 92], [Ainger, 94].

Quando a dimensão do sistema é reduzida, ou seja, o número de equipamentos a controlar é relativamente pequena, a sua operação é simples e eficiente.

Um factor importante que contribui para este desempenho, é a centralização do poder de decisão, possibilitando o acesso a toda a informação do sistema e permitindo decidir de uma forma optimizada.

Quando a dimensão do problema aumenta consideravelmente, o sistema central tem necessidade de possuir uma boa resposta temporal, quer para o envio atempado de comandos, quer na recolha de informação do estado do sistema, essencial nas suas tomadas de decisão.

O planeamento detalhado das operações para os diversos equipamentos que constituem o sistema, transforma-se numa actividade exigindo uma capacidade de processamento extremamente elevada.

Os recursos da unidade central podem ficar saturados, implicando a utilização de equipamento mais poderoso e naturalmente mais dispendioso.

Hierárquica

A utilização de diferentes níveis de controlo, operando em diferentes escalas temporais e com responsabilidades diferentes, torna esta arquitectura eficiente no manuseamento de elevadas quantidades de informação, estática e dinâmica, assim como nas necessárias tomadas de decisão [Diits].

O facto desta arquitectura produzir escalonamentos para diversos equipamentos, tendo por base uma grande parte da informação do sistema, torna a solução encontrada com um determinado grau de optimização. Deve contudo ter-se presente que, a referência a um escalonamento optimizado não quer significar a solução óptima.

A natureza optimizada dos escalonamentos e consequente boa utilização dos recursos, deve-se à centralização da informação. Contudo, devido à escala do problema do escalonamento, abrangendo um grande número de equipamentos, este torna-se bastante complexo e eventualmente pesado. Consequentemente, não apresenta uma resposta rápida a eventos anormais, que ocorram na oficina. Estes fenómenos, provocam neste tipo de arquitectura uma rápida degradação da performance do sistema [Bongaerts, 95].

Hierárquica Modificada

Este tipo de arquitectura partilha a maior parte dos benefícios da estrutura hierárquica.

A utilização de escalonamentos baseados num conjunto elevado de informação permite que as tomadas de decisão durante a concepção do escalonamento se traduza numa solução com boa utilização dos equipamentos.

Esta arquitectura possui um grau apreciável de autonomia ao nível dos controladores subordinados, relativamente ao supervisor. Por este facto, possibilita que perante alteração das condições que estiveram na base da geração do escalonamento, o sistema se tente adaptar às novas condições. Procura evitar-se desta forma o reescalonamento das operações. Esta característica procura atenuar os problemas sentidos na arquitectura hierárquica quando o sistema apresenta perturbações várias.

Heterárquica

A supressão do nível superior de controlo e a total autonomia dos controladores, transmite a este tipo de arquitectura excelentes propriedades na reacção e adaptação a alterações ocorridas no processo de fabrico.

O controlo heterárquico é caracterizado precisamente pela sua adaptabilidade às perturbações no sistema de fabrico, bem como a sua fácil implementação. Contudo, a excelente reactividade à mudança é paga pela relativamente baixa eficiência do sistema [Bongaerts, 95].

3.4.1.3 Quanto à Tolerância a Falhas

A tolerância a falhas é um factor de grande importância numa arquitectura de controlo, dado a sua ocorrência provocar a quebra de performance do sistema, podendo mesmo paralisá-lo. Assim torna-se necessário que o sistema procure minimizar essas falhas e se possível recuperar de forma satisfatória de tais situações. De seguida será analisado o comportamento das diversas arquitecturas relativamente a este ponto.

Centralizada

Este tipo de arquitectura é caracterizada pela sua má tolerância a falhas.

Esta característica revela-se quer nas falhas relacionadas com distúrbios no processo de fabrico, quando o sistema comporta um número considerável de equipamentos, quer fundamentalmente por falhas que afectem o controlador central, tornando inoperacional todo o sistema.

Hierárquica

O facto da arquitectura hierárquica não se basear num único controlador central, mas num conjunto de controladores, torna possível, a replicação ou redundância de funções pelos vários computadores que constituem o sistema. Esta prática permite que, um controlador assuma as funções de outro em caso de problema.

A recuperação de situações devidas a perturbações no processo de fabrico, não é muito eficaz. Para tal contribui a sua estrutura, nomeadamente, a relação mestre/escravo existente entre supervisor e subordinado [Diits].

Depara-se também, com dificuldades de implementação de acções de recuperação de falhas. Tal facto deve-se à estrutura de controlo e às complexas interacções que teriam de ser explicitamente programadas para o sistema recuperar de tais situações. Este factor torna complexo o sistema de recuperação de falhas e dificulta mesmo a sua implementação.

Concluindo, a arquitectura possui um bom desempenho, quando o processo se desencadeia normalmente. Contudo, a ocorrência de eventos anormais provocando perturbações no processo, origina a rápida degradação do funcionamento do sistema, oferecendo esta arquitectura uma tolerância a este tipo de falhas, pouco satisfatória.

Hierárquica modificada

Esta arquitectura apresenta uma melhor tolerância a falhas que a arquitectura de onde evolui (hierárquica). Este facto, deve-se à maior autonomia dos controladores subordinados, que permite actuarem como um subsistema autónomo da hierarquia.

O aumento da autonomia dos controladores subordinados, implica que estes possuam capacidade de decisão local. Desta forma apresentam uma melhor reacção a perturbações locais do processo de fabrico. Esta característica aumenta a fiabilidade do sistema.

O diagnóstico de falhas é mais simples de implementar. Esta simplificação do processo fica a dever-se ao menor grau de dependência do supervisor e à capacidade local de decisão da forma como agir, perante um comportamento anómalo.

Heterárquica

A arquitectura heterárquica caracteriza-se pela facilidade e simplicidade de recuperação de falhas. É dos quatro tipos de arquitecturas, a que melhor recupera de falhas e a mais insensível a tais acontecimentos [Diits].

Esta característica é devida à total autonomia dos controladores, permitindo que estes decidam que acções devem tomar de forma a recuperar de condições anormais e adaptando-se rapidamente às novas condições. Todavia, esta adaptação não significa que exista uma preocupação de optimização do desempenho do sistema [Bongaerts, 95].

3.4.1.4 Quanto à Modificabilidade/Extensibilidade

Entende-se por modificabilidade e extensibilidade a capacidade de um sistema poder sofrer respectivamente, alterações e expansões da sua estrutura. Desta forma serão analisadas as arquitecturas de controlo relativamente a estas características.

Centralizada

A arquitectura centralizada apresenta limitações profundas à ocorrência de mudanças na sua estrutura. As alterações num sistema centralizado são geralmente difíceis e dispendiosas.

A alteração ou adição de elementos, num sistema de software centralizado, torna-se difícil, devido a uma parte significativa da sua estrutura lógica se diluir pelo programa e estrutura global de dados, escondendo desta forma detalhes da arquitectura.

A extensibilidade do sistema está condicionada pela capacidade de processamento do controlador central [Upton, 92], [Diits].

Hierárquica

A divisão das tarefas de controlo através de uma estrutura hierárquica e consequente divisão em módulos, facilita a tarefa do seu desenvolvimento. Outro factor benéfico é o facto desta divisão limitar a dimensão dos módulos, quer quanto ao tipo de funções que desempenham, quer em grau de complexidade. Contudo, factores que poderiam ser indicadores de fácil alteração e expansão da estrutura existente, não o são na realidade.

A estrutura hierárquica tem tendência para se tornar demasiado rígida, vincando a sua estrutura nos primeiros estágios de desenvolvimento e tornando difíceis futuras alterações ou expansões.

Embora a arquitectura hierárquica possua uma estrutura modular, as relações entre módulos são bastante profundas, requerendo um substancial conhecimento dos módulos com que se relaciona. Esta dependência profunda, entre os módulos, afecta a capacidade de efectuar mudanças na sua estrutura [Diits].

Hierárquica modificada

A arquitectura hierárquica modificada, ao promover uma certa autonomia dos controladores subordinados, permite que estes possam ser observados como um subsistema autónomo.

A autonomia dos controladores tem associada uma maior simplicidade de alterações na estrutura do controlador. O grau de dependência, que ocorre entre supervisor e subordinado, pode influenciar a menor ou maior simplicidade com que se procede a expansões ou alterações na estrutura do controlador. Desta forma, uma dependência muito marcada entre supervisor e subordinado, implica um acréscimo de dificuldade no processo de alterações ou expansões dos controladores. Pode mesmo afirmar-se que a modificabilidade e extensibilidade dependem da forma como se relacionam os diversos níveis da arquitectura.

Heterárquica

Esta arquitectura, caracteriza-se pela total autonomia dos controladores. O facto dos controladores serem autónomos, torna-os independentes em termos estruturais, realçando

prioritariamente a sua componente funcional. Esta característica da arquitectura heterárquica, torna as modificações operadas nos controladores mais simples, assim como é consideravelmente facilitada a extensibilidade e reconfiguração do sistema.

3.4.2 Motivação para a Escolha de uma Organização Celular

Os modelos de fabrico utilizados por uma empresa dependem entre outros factores, do tipo de processo, volume de produção, número de variantes produzidas, ciclo de vida dos produtos, dimensão dos lotes, etc.

Os sistemas de fabrico empregues para competir em mercados, onde as variantes do produto, assim como o seu reduzido ciclo de vida imperam, devem possuir flexibilidade para se adaptar às diferentes necessidades de produção. Assim, o sistema fica sujeito à necessidade de comportar no seu aparelho produtivo diferentes processos de fabrico. Estes podem exigir a sua reconfiguração frequentemente, com intervalos diários ou menores. Tais sistemas baseiam-se numa filosofia de fabrico flexível que podem apresentar essencialmente as seguintes configurações:

- **Sistemas Flexíveis de Fabrico (FMS)** com ordens de fabrico aleatórias [Groover, 87];
- **Sistemas de fabrico flexível baseado numa estrutura celular** [Black, 91].

3.4.2.1 Estruturação do Sistema de Fabrico

3.4.2.1.1 Os FMS

Procuram maximizar a flexibilidade, tentando alcançar esse objectivo através da conciliação de funcionalidade do *job shop*, com a produtividade do *flow shop* [Black, 91]. A possibilidade de uma operação poder ser efectuada num número elevado de máquinas, obriga a prever um movimento de materiais aleatório pela oficina, como forma de poder endereçar as diversas máquinas que a compõem. Esta característica implica necessariamente um sistema de encaminhamento complexo. As partes alvo de transformação podem requerer duas ou três passagens pelo sistema de fabrico antes de serem concluídas [Black, 91]. Esta particularidade gera um fluxo muito complexo de materiais, ferramentas e fixações pelas diversas máquinas que constituem a oficina.

3.4.2.1.2 As Células de Fabrico

As células de fabrico baseiam-se na decomposição do sistema de fabrico num conjunto de máquinas, aptas a produzir uma ou mais famílias de peças. Esta decomposição é resultado de um estudo de optimização da estrutura da oficina baseada numa definição de grupos tecnológicos [Groover, 87].

Os itens produzidos na célula podem percorrer as diversas máquinas que a constituem. Devido à sua estrutura estar orientada ao produto, a circulação de materiais e ferramentas no seu interior, decorre de forma mais organizada e em menor escala.

3.4.2.2 Comparação das duas Configurações de Sistemas de Fabrico

O sistema de fabrico referido na secção anterior, apresenta a possibilidade de duas configurações: o FMS apresentado como um sistema de fabrico totalmente distribuído com possibilidade de ser endereçado ao equipamento, e desta forma maximizar a flexibilidade do sistema; as células de fabrico como uma entidade organizacional capaz de produzir também de forma flexível, mas com menor grau de liberdade na atribuição das tarefas. Estas duas filosofias têm naturalmente diferentes comportamentos em relação a determinados aspectos.

3.4.2.2.1 Quanto à Eficiência

Uma preocupação das novas filosofias de fabrico é a redução dos tempos de produção (*lead time*) dos diversos itens. O tempo de produção é constituído por um conjunto de componentes de peso variável, ver figura 3.1. A redução do tempo de produção passa pela análise das suas componentes e implicações da estrutura de fabrico, e filosofia de fabrico empregue.

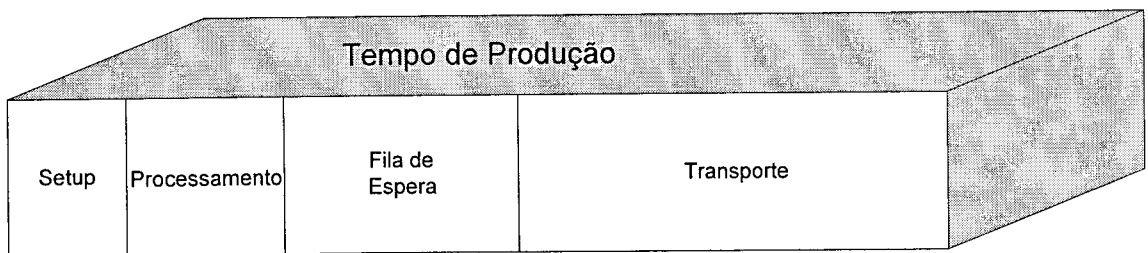


Figura 3.1 - Divisão do tempo de produção para um sistema de produção por lotes.

A filosofia *Just In Time* advoga a redução de todas as fontes de desperdício, ou seja, a redução de tudo que não seja produtivo e não contribua para o lucro da empresa.

Alcançar estes objectivos passa pela redução do tempo de produção (*lead time*). Um dos factores que contribui para o tempo de produção, é o tempo de transporte. Na vida real esta componente pode rondar os 80% do tempo de produção [Bauer, 91]. Desta forma estes requisitos devem ser considerados numa avaliação de eficiência do sistema.

3.4.2.2.1.1 Os FMS

Os FMS possuem a flexibilidade de poder encaminhar as tarefas por diferentes percursos. Contudo, fazem uso intensivo do sistema de transporte entre máquinas, que estão relativamente afastadas. O sistema de transporte é bastante requisitado nestes sistemas, podendo eventualmente não apresentar como característica principal a rapidez. A utilização de AGV para efectuar o

transporte entre máquinas, é um sistema que apresenta bastante flexibilidade, mas relativamente lento. Em processos onde o tempo de processamento não seja muito elevado os tempos de transporte são ainda mais realçados, podendo tornar-se significativos.

Quando a produção se efectua em lotes, mesmo de dimensões pequenas, o tempo de fila de espera pode também tornar-se apreciável, e as componentes do tempo de transporte e fila de espera podem interrelacionar-se. Estes factores reduzem de certa forma a eficiência do sistema.

3.4.2.2.1.2 As Células de Fabrico

As células de fabrico, possuem uma estrutura mais compacta, com as máquinas mais próximas e de diversidade funcional capaz de assegurar a execução de muitas das operações, num espaço relativamente reduzido. Os itens trabalhados na célula, percorrem sequências de máquinas no seu interior, recorrendo eventualmente ao serviços de outras células, para término das operações. O percurso dos materiais é facilitado no interior da célula. Os tempos de transporte são reduzidos. A eficiência do sistema é aumentada.

Este tipo de organização obriga também a uma racionalização do planeamento, ou seja, a uma boa definição dos produtos durante a fase de projecto. Estes, deverão ser orientados ao *layout* contribuindo para uma boa organização do sistema de fabrico. Esta prática reduz o tempo de produção e facilita o fluxo dos lotes entre os centros de operação (células), reduzindo o tempo de fila de espera (*queuing time*) [Bauer, 91]

3.4.2.2.2 Quanto ao Impacto no Controlo

Um sistema de fabrico que tenha por objectivo a flexibilidade, ou seja, a capacidade de adaptar-se facilmente a variações do processo produtivo, requer uma componente significativa de acção de controlo. Esta exigência deve-se à necessidade de coordenação e controlo dos diferentes recursos existentes na oficina durante o processo de fabrico. Contudo, as necessidades de controlo fazem-se sentir de forma diferente nas duas configurações.

3.4.2.2.2.1 Os FMS

As necessidades de controlo nos FMS são extremamente elevadas, devido às suas características e número de tarefas a executar.

O custo da elevada flexibilidade, conferida pela possibilidade de permitir um movimento aleatório das partes pelos diversos equipamentos da oficina, reflecte-se pela exigência de um controlo significativamente complexo.

3.4.2.2.2 As Células de fabrico

A célula constitui um subconjunto de equipamentos pertencentes à oficina. O problema de controlo encontra-se dividido pelos diversos controladores de célula, existindo uma entidade ao nível superior, responsável pela atribuição das tarefas a realizar. Esta entidade pode eventualmente, e dependendo da estratégia de controlo, coordenar os trabalhos intercélulas. Esta abordagem reduz significativamente a complexidade do problema, tornando o controlo de um sistema baseado em células, mais simples relativamente aos FMS [Black, 91].

3.4.2.2.3 Conclusão

O sistema de fabrico baseado numa organização celular, reduz a complexidade do sistema [Black, 91]. A componente organizacional das células permite a redução de diversas componentes indesejáveis, que afectam o tempo de produção (*lead time*), ou seja, transmite eficiência ao seu desempenho [Bauer, 91]. O custo destes benefícios é pago por uma relativa perda de flexibilidade, comparativamente a um sistema totalmente distribuído, como o FMS referido.

3.4.3 Interacção Nível Oficina/Célula

Em termos de controlo, o nível célula encontra-se imediatamente abaixo do nível oficina, pelo que os objectivos e referências a implementar são fornecidos pelos níveis superiores.

A natureza dos comandos e o grau de interacção com o nível oficina, determina as funções que serão implementadas no nível célula. Esta situação reflecte-se com maior incidência na área do escalonamento do controlador de célula, e por arrastamento, em muitas situações do despacho das tarefas escalonadas.

Um grau de interacção elevado entre os níveis oficina e célula, com comandos detalhados e frequentes, implica que a função de planeamento (escalonamento) não tenha significado no controlador de célula. O mesmo se poderá afirmar em relação ao despacho das tarefas escalonadas. Esta situação tem como consequência uma estrutura simplificada do controlador de célula. A centralização no nível oficina das funções de escalonamento, requer que o resultado obtido no referido escalonamento, contenha um nível de detalhe muito significativo. Naturalmente, este cenário repercute-se na maior simplicidade do controlador de célula mas, simultaneamente, requer a resolução de problemas de escalonamento bastante complexos e com limites demasiadamente alargados. Essa complexidade reflecte-se de forma negativa, no tempo exigido para concepção de tais planos acção (escalonamentos). Este facto, é tanto mais verdadeiro, quanto maior o número de células que o nível oficina controla. O sistema apresenta uma grande tendência para a quebra de performance, à medida que se procede à sua expansão. A dependência da resolução de problemas de escalonamentos de grande escala, com o consequente

acréscimo de complexidade, repercute-se de forma negativa no desempenho da totalidade do sistema. As condições de operação são agravadas pela incerteza característica dos sistemas de fabrico, que influenciam as condições que serviram de suporte ao cálculo do escalonamento. Da ocorrência com relativa frequência de eventos anormais nos ambientes de fabrico, poderá resultar a necessidade de reescalonamento ao nível da oficina.

Um outro quadro ocorre, quando o índice de actividade entre o nível oficina e célula é reduzido. Neste caso, o nível oficina fornece indicações mais genéricas, implicando a necessidade do controlador de célula gerar os seus próprios escalonamentos. A distribuição da resolução do problema do escalonamento pelos dois níveis, oficina e célula, é uma prática comum [Araujo, 95]. Esta distribuição processa-se através da elaboração de um escalonamento grosso, prevendo um horizonte temporal relativamente alargado, dependente do tipo de processo. Um escalonamento fino no nível célula, o qual deve ser caracterizado pelo elevado detalhe e com um horizonte temporal mais restrito, permite assim uma melhor resposta a distúrbios ocorridos neste nível. Uma característica interessante da transferência do escalonamento para o nível célula, é a possibilidade de restringir a propagação de determinados desvios, ao interior da célula. Esta situação melhora significativamente o desempenho da totalidade do sistema.

Existem também condições de controlo do sistema de fabrico em que o escalonamento do nível oficina é abolido e distribuído pelas células. Os controladores de célula devem assim prever mecanismos de cooperação que torne possível a concepção de um escalonamento totalmente distribuído e operações destinadas à coordenação dos trabalhos intercélulas.

O grau de interacção entre o nível oficina e célula, influencia a capacidade funcional do controlador de célula. Esta constatação permite agrupá-los em três grupos bem definidos:

- Controlador sem capacidade de efectuar escalonamento e sem conhecimento do mesmo;
- Controlador sem capacidade de efectuar escalonamento, mas capaz de cumprir o plano traçado pelo escalonador;
- Controlador com capacidade de gerar os seu próprio escalonamento e a consequente capacidade de implementação das suas directrizes.

A interacção entre os níveis oficina e célula também produz efeito em termos de classificação do tipo de controlo operado.

A classificação do tipo de controlo implementado numa célula não depende somente da capacidade de controlo empregue no seu interior, mas também da capacidade do sistema em coordenar e controlar as diversas células que constituem o sistema de fabrico [Pimentel, 90]. Esta forma de classificação, implica que práticas ou estratégias de controlo ao nível da oficina, se

reflectam de igual modo na classificação do controlo celular, podendo esta variar desde o controlo centralizado ao sistema de controlo totalmente descentralizado.

3.4.3.1 Transacção Nível Oficina /Célula

A interacção do nível oficina com o nível célula condiciona a forma como se processa o planeamento das operações no seu interior. Tal planeamento, bem como atribuição das tarefas poderá apresentar variantes, dependendo fundamentalmente da estrutura, configuração, requisitos da célula e filosofia a implementar pelo nível oficina [Pimentel, 90].

3.4.3.1.1 Células sem Capacidade de Planeamento

Esta variante faz-se sentir ao nível das células que não comportam planeamento (escalonamento) das suas tarefas. Essa função é executada pelo controlador de oficina que planeia, controla e coordena as operações das diversas células que constituem a oficina.

3.4.3.1.2 Células com Capacidade de Planeamento

A transferência de poder de decisão do nível oficina para a célula, concedendo-lhe a possibilidade de executar as tarefas que lhe são atribuídas (ou seja a possibilidade de produzir escalonamentos), implica a necessidade de definir o processo de atribuição das tarefas passíveis de planeamento. Este tipo de atribuição pode apresentar algumas variantes, que em seguida serão abordadas.

3.4.3.1.2.1 Atribuição ao Volume

Neste tipo de implementação, o controlador de célula recebe uma quantidade de trabalho, que deverá executar dentro de um determinado horizonte temporal.

O trabalho é constituído por um conjunto de tarefas e estas por sua vez representam um conjunto de operações, que deverão ser escalonadas ao nível célula pelos recursos que a constituem. O escalonamento terá em consideração indicações dadas pelo controlador de oficina, em relação às tarefas e prazos limites para a sua realização.

3.4.3.1.2.2 Atribuição ao Item

Na transacção ao item, o controlador de célula recebe o trabalho a executar à tarefa. Este tipo de transacção das tarefas implica que controlador de célula, possua um sistema de planeamento (escalonamento) mais versátil. Baseando-se nos trabalhos já escalonados pelos equipamentos, deverá ser capaz de escalonar a tarefa recebida, tendo em conta as condições impostas pelo nível oficina para a sua realização.

A necessidade de uma maior versatilidade do escalonamento deve-se em parte ao facto dos limites temporais de realização das tarefas, serem neste caso mais apertados, implicando assim a

necessidade de uma melhor resposta por parte do sistema na concepção do plano adequado e sua implementação.

A sequência das operações a realizar podem ser descritas da seguinte forma:

- O controlador de célula recebe um pedido do controlador de oficina, para a realização de uma determinada tarefa. Este inclui os tempos limites para a sua conclusão. Estes tempos têm em conta as especificidades deste tipo de escalonamento e prevêm a possibilidade de permanecer em fila de espera.
- O tratamento do pedido de execução da tarefa, implica a análise de requisitos, materiais, equipamentos para a sua realização, bem como um plano detalhado desta, tendo em conta a ocupação dos equipamentos da célula provocada pelo escalonamento de outras tarefas.

3.4.3.1.2.3 Atribuição e Responsabilização

Neste tipo de implementação, a célula recebe um pedido de execução de uma determinada tarefa, responsabilizando-se pela sua realização e encaminhamento intercélulas. Concretizando, o controlador de célula recebe o pedido de execução de uma determinada tarefa, e analisa o seu conteúdo. Realiza um plano para execução das operações que decorram no interior da sua célula, gera informação necessária e contacta a célula que deve prosseguir as operações.

Este tipo de transacção reduz a necessidade de intervenção do nível oficina no controlo e coordenação dos processos intercélulas.

3.4.3.1.2.4 Atribuição por Negociação

A transacção das tarefas pelo nível oficina por mecanismo de negociação, é um sistema que começa a ser utilizado tendo como principal característica, a simplificação de operações de escalonamento, nomeadamente ao nível da oficina [Upton, 92], [Ramos, 95], [Bongaerts, 95]. Este sistema é inspirado nas teorias aplicadas nos sistemas distribuídos. O sistema baseia-se na eleição e consequente atribuição da tarefa à entidade que efectuar a melhor oferta. A utilização deste mecanismo, que se assemelha a um leilão, tem sido sugerida em aplicações como sistemas de fabrico flexível (FMS) [Upton, 92], dada a sua boa adaptação à atribuição das tarefas aos diversos equipamentos.

A aplicação deste mecanismo a sistemas baseados em células merece ser analisada. Um mecanismo de licitação de tarefas, dependendo da forma como é aplicado pode desvirtuar o conceito de célula. Concretizando, uma célula é concebida para executar uma ou mais operações pelas máquinas que a constitui, de forma a produzir uma família de peças. Este desempenho da

célula resulta da aplicação de filosofias JIT e GT de forma a optimizar a performance do sistema de fabrico, melhorando a sua eficiência e simultaneamente reduzindo a sua complexidade.

Contudo, pode ocorrer casos de licitações que desvirtuem o conceito de célula e afecte a eficiência do sistema de fabrico. Como exemplo, refere-se o resultado de uma licitação em que uma operação é atribuída a uma máquina da célula, e a operação seguinte é eventualmente atribuída a uma máquina não pertencente à mesma célula. Se ocorrer este cenário verificar-se-á um aumento de índices indesejáveis, como o aumento do tempo de transporte e fila de espera.

Este cenário suscita questões relacionadas com a forma como se efectua o critério de decisão e o sequenciamento neste tipo de transacção, que de seguida serão abordados.

3.4.3.1.2.4.1 Critério de Decisão

O problema da decisão da atribuição de uma operação, reside na eventual falta de um correcto critério de decisão.

Considere-se o caso da atribuição, de uma operação a um equipamento da célula. Após esta atribuição, a operação seguinte deverá preferencialmente ser executada por um equipamento da mesma. De outra forma, estará contra os objectivos do sistema.

O critério de decisão poderá contribuir para a desvirtuação do conceito de célula. Este problema poderá contudo ser atenuado, se a licitação for efectuada à tarefa, ou seja a licitação é efectuada sobre um conjunto de operações. A atribuição da tarefa a uma célula deverá considerar o maior número de operações licitadas da tarefa.

Este critério beneficia os equipamentos que se encontram agregados, procurando optimizar o seu funcionamento em grupo, inerente ao próprio conceito de célula. Estas considerações podem levar-nos ao conceito de associação oportunista de equipamentos, ou seja, os equipamentos tiram partido da sua proximidade e relacionamento para obter mais valias na licitação das tarefas.

3.4.3.1.2.4.2 Problema de Sequenciamento

Este tipo de problema poderá surgir, devido à dificuldade preempção dos sistemas de fabrico e pode ser explicado com o cenário que se descreve em seguida.

Por simplicidade, suponhamos que uma tarefa é constituída por três operações **O₁₁**, **O₁₂** e **O₁₃**. Existem três máquinas **A**, **B** e **C**, que podem efectuar ambas as operações numa sequência que cumpra a *deadline* **D₁**, estabelecida como condição na licitação da tarefa.

A máquina **A**, conquistou o direito de efectuar a operação **O₁₂**. À máquina **B**, foi atribuída a operação **O₁₁**. À máquina **C**, foi atribuída a operação **O₁₃**.

Posteriormente, uma outra tarefa é emitida. Esta tarefa é constituída por uma única operação O_{21} , e só pode ser efectuada na máquina **B**, e apresentando uma determinada *deadline* D_2 , para a sua operação.

As condições da tarefa não podem ser cumpridas devido à máquina **B** já estar ocupada, como se pode ver pela figura 3.2. Neste caso, o sequenciamento não foi eficiente, não cumprindo os objectivos do sistema. Este cenário revela uma situação onde a ocupação dos equipamentos prevaleceu em relação à sua correcta utilização.

O exemplo apresentado revela de certo modo a forma não otimizada de um escalonamento heteráquico. Este é mais simples de efectuar, mas apresenta geralmente uma menor eficiência [Bongaerts, 95].

Uma solução para o possível escalonamento que satisfaça as condições impostas pelo sistema, pode ser observado na figura 3.3.

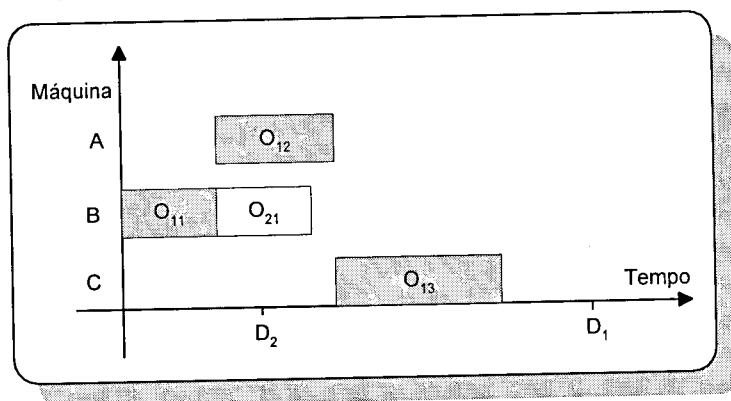


Figura 3.2 - Sequência que não cumpre os objectivos do sistema.

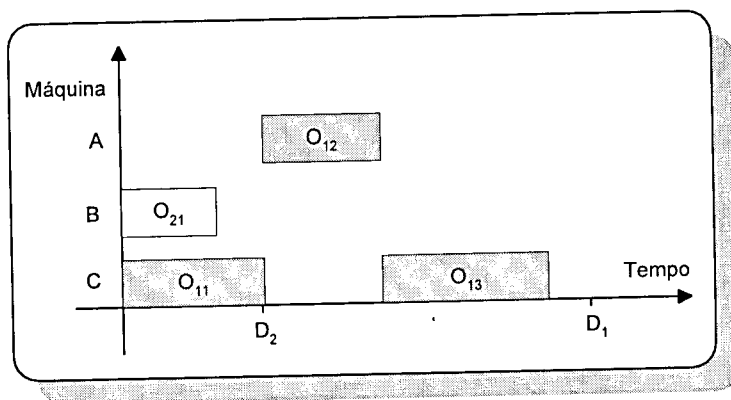


Figura 3.3 - Sequência que cumpre os objectivos do sistema.

Os inconvenientes do mau sequenciamento, poderão ser minimizados pela eventual existência de uma entidade que efectue uma correcta gestão dos recursos. No caso da célula, a centralização

da gestão dos recursos é uma solução que tenderá a reduzir as situações de maus sequenciamentos e consequentemente uma melhor utilização dos equipamentos.

3.5 Conclusão

Os diversos tipos de arquitecturas de controlo apresentam factores que realçam a sua apetência em diferentes cenários.

Em termos funcionais, verificou-se na comparação das diferentes arquitecturas que a centralização de determinadas funções, como o escalonamento, produzem soluções mais optimizadas, com a consequente maior eficiência no uso dos equipamentos. Contudo, o seu desempenho só é verdadeiramente eficaz quando o nível de perturbações no processo de fabrico é reduzido. Caso contrário, o comportamento do sistema deteriora-se rapidamente. Nestas situações a estrutura heterárquica mostra um melhor desempenho. Este é conseguido através de um processo de escalonamento mais simples e consequentemente mais adaptado a um sistema onde a mutação das condições é mais frequente. A simplificação do processo tem por preço uma menor optimização dos planos traçados.

Em termos estruturais, o aumento da autonomia dos controladores, torna o desenvolvimento de uma estrutura de controlo mais simplificada, assim como facilita eventuais alterações na sua arquitectura.

O sistema de controlo abrange vários níveis da estrutura da empresa. A forma como interagem define de certa forma características da sua estrutura. A interacção do nível oficina e célula influencia a capacidade funcional do controlador de célula podendo a transacção das tarefas entre os dois níveis apresentar diferentes formas, que estão de certo modo ligadas com as filosofias de controlo do sistema.

No presente capítulo foi formulado um problema relativo ao controlo de sistemas de fabrico e produzidas diversas considerações sobre a sua envolvente, culminando com este resumo. No próximo capítulo, tomando em consideração os assuntos abordados, será apresentada uma arquitectura para controlador de célula.

Capítulo 4

Apresentação de uma Arquitectura para Controlador de Célula

4.1 Introdução

Foi referido no capítulo anterior a dependência que o sistema de controlo apresenta relativamente à estrutura que o suporta. Por seu turno, a oficina, ou seja, a totalidade do sistema operacional, depende das suas características e desempenho. Não deve por isso, uma empresa e mais concretamente o seu aparelho produtivo, ser visto como um sistema acabado, perfeitamente imutável. Antes pelo contrário, deve ser encarado como um sistema que evolui ao longo do tempo, com as consequentes necessidades de adaptação às diversas exigências que se lhe deparam. Tais exigências ocorrem quer ao nível das variações do processo produtivo, quer ao nível da utilização de novas estratégias e resultam da natural evolução ocorrida durante o ciclo de vida do sistema de fabrico.

Nesta secção será apresentada uma arquitectura de controlador de célula que procura satisfazer os requisitos a que se propõe. Será de realçar a fácil extensibilidade da arquitectura de controlo ao nível dos constituintes da célula, e ainda a sua boa adaptabilidade a diferentes interacções com o nível oficina.

Durante a discussão da arquitectura serão apresentadas denominações para os três tipos de controladores que formam a estrutura do controlador de célula:

- **Controlador de célula.** É o conjunto de meios que controlam as operações no interior da célula. Faz uso dos serviços dos controladores e controladores locais dos equipamentos;
- **Controlador.** É o responsável pelo controlo do processo na célula, do equipamento que lhe está associado;
- **Controlador local.** É o responsável pelo controlo das operações no interior dos equipamentos. Este controlador é parte integrante do equipamento sendo concebido pelo seu fabricante.

A figura 4.1 apresenta uma estrutura que satisfaz os requisitos acima mencionados. Na secção que se segue será efectuada a respectiva descrição sumária.

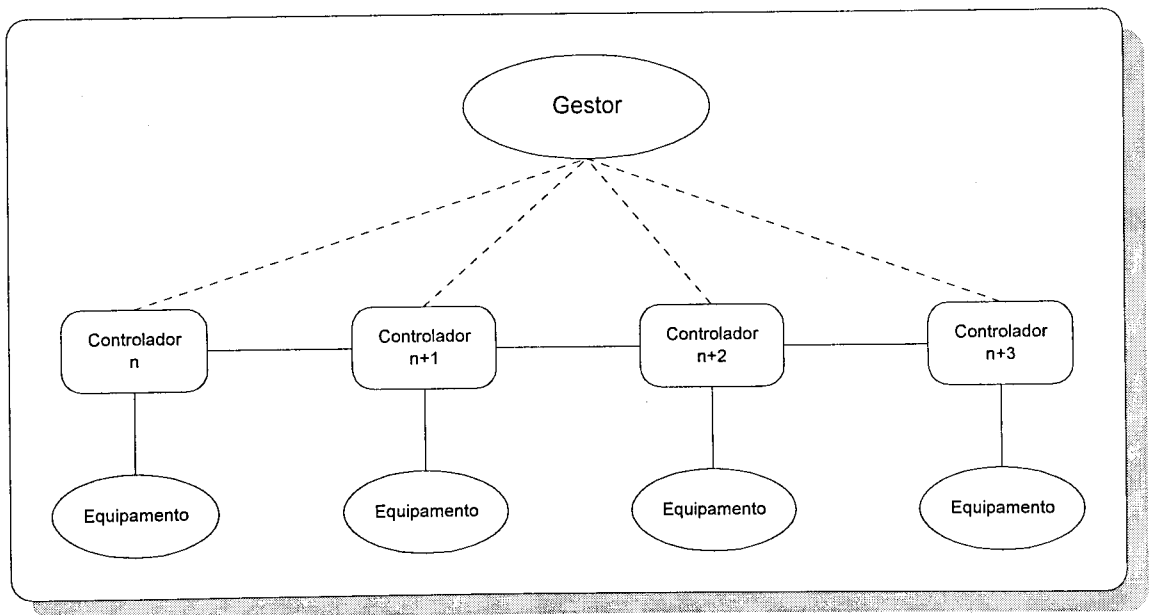


Figura 4.1 - Arquitectura do controlador de célula.

4.2 Estrutura do Controlador de Célula

A célula é constituída por um ou mais equipamentos que requerem acção de controlo, com o objectivo de assegurar a execução das tarefas que lhes são incumbidas de uma forma concertada. Cada equipamento (máquinas, manipuladores, mesas de transferência, etc) tem associado um controlador responsável pelo controlo das operações que está incumbido de realizar no interior da célula a que pertence.

A necessidade de desempenhar as tarefas para as quais seja requerida a participação de mais do que um equipamento, sugere a associação destes de forma a cooperarem na realização de tal objectivo. Surge assim a figura de uma associação de controladores autónomos para persecução de objectivos comuns. A entidade aglutinadora dos diferentes controladores é o gestor. Este tem, entre outras funções, que serão descritas futuramente, a responsabilidade de transaccionar as tarefas a executar pelos equipamentos dos controladores que se lhe associaram. O conjunto dos controladores e gestor, contratado pelos primeiros, forma assim o controlador de célula. A utilização desta estrutura de controlador de célula pode ser objecto de várias considerações.

O facto da arquitectura se basear num conjunto de módulos com elevado grau de autonomia permite, que o seu desenvolvimento seja independente e simplifica de forma significativa, o trabalho de desenvolvimento e teste dos seus elementos constituintes. O desenvolvimento de um controlador não implica o conhecimento das características dos outros controladores que poderão vir a agrupar-se para constituir o controlador de célula. Esta associação exige o estabelecimento de um protocolo baseado em mensagens que sejam compreendidas pelos diversos módulos que as partilham. Exige também a existência de informação com referência às entidades participantes no processo.

O controlador de célula é constituído por um ou mais módulos (controladores), facilmente adicionáveis ou removíveis da entidade que os agrega. Esta capacidade é assegurada através de um simples mecanismo de registo no gestor do controlador de célula, não havendo necessidade de alterar software da estrutura de controlo já existente.

4.2.1 Descrição do Funcionamento

O controlador de célula não deve ser encarado como um sistema estático ao qual está associada uma certa dificuldade em alterar, quer as técnicas de controlo aplicadas, quer o número de equipamentos que o constituem. Antes pelo contrário, deve ser visto como um sistema dinâmico que se adapta com facilidade à mudança. Tais alterações podem ter origens diversas. Muitas vezes, há interesse em retirar equipamentos, consequência de uma avaria ou por qualquer outra situação impeditiva do seu correcto funcionamento. Outras vezes, procede-se à adição de novos equipamentos, opção que pode resultar de uma estratégia da empresa no sentido do aumento da capacidade instalada, ou então, a aposta numa estratégia baseada na diversificação e eventual necessidade de equipamentos diferentes.

4.2.1.1 Ao Nível do Gestor

A relação entre o nível oficina e célula pode variar, nomeadamente devido à implementação de diferentes estratégias ao nível da oficina, conforme foi referido em §3.4.3. Estas diferentes estratégias podem ter um impacto variável na estrutura do controlador de célula, com a

consequente necessidade de operar modificações no sentido da sua adaptação às mesmas. A arquitectura apresentada permite um elevado grau de independência dos controladores que constituem o controlador de célula em relação às estratégias implementadas pelo nível oficina. Daí que somente haja a necessidade de efectuar alterações ao nível do bloco de gestão de recursos que compõem o gestor. Deste modo, possibilita-se a sua utilização em ambientes que apliquem diversas estratégias de controlo no nível oficina, não causando pelo facto grande impedimento à evolução do sistema, requerendo adaptação do gestor a essas estratégias, ou a utilização de um gestor especializado numa forma particular de transacção com o nível oficina.

4.2.1.1.1 A Utilização da Licitação pelo Nível Oficina

A associação dos controladores, a um gestor nomeado como seu representante na transacção das tarefas (que irão ser desempenhadas no interior da célula), possibilita um considerável grau de abstracção: a *metamáquina* ou *supermáquina* (figura 4.2), ou seja, uma máquina efectua um conjunto de funções para alcançar um determinado objectivo. Como exemplo cita-se o movimento ao longo dos eixos do dispositivo que suporta o material e/ou a ferramenta de corte, descrevendo a trajectória desejada sobre a superfície de trabalho. Tais movimentos podem ser considerados como funções independentes do movimento segundo os diversos eixos, xx , yy e eventualmente zz . Analogamente as tarefas executadas em cada um dos diversos equipamentos, podem ser consideradas como uma macro função, que concorre para a execução das tarefas ao nível da célula.

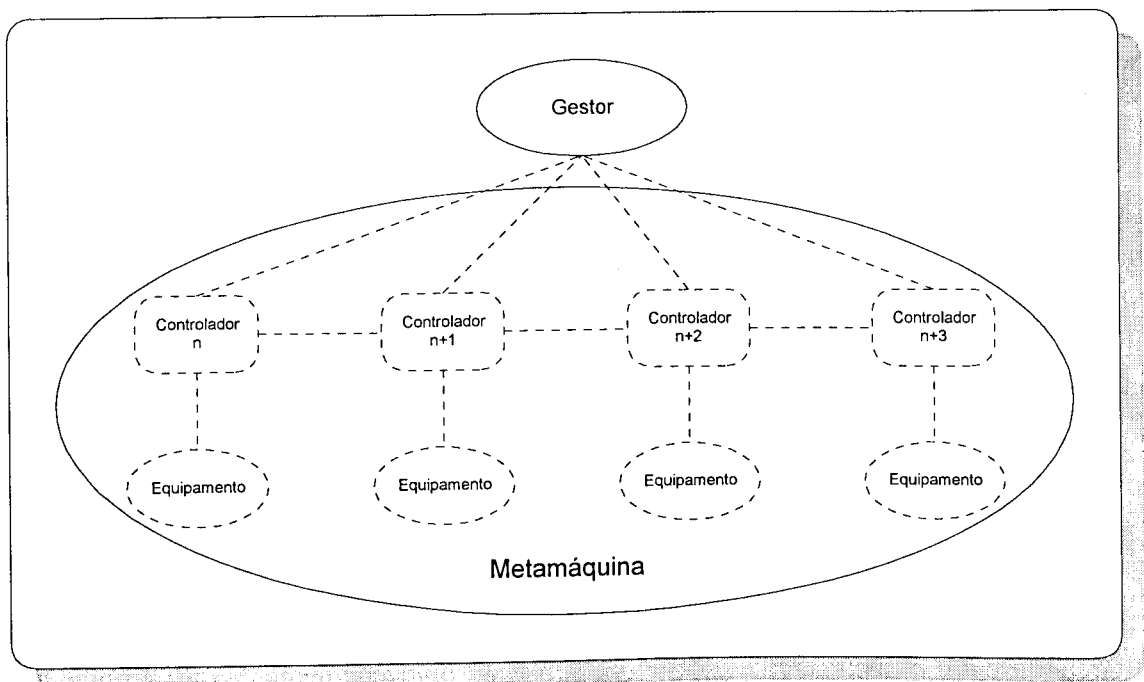


Figura 4.2 - Representação do conceito de metamáquina.

A utilização de um tal grau de abstracção torna-se benéfico quando o sistema de fabrico, mais concretamente o nível oficina, implementa uma estratégia de licitação das tarefas. No qual o sistema funciona como um mercado (leilão), onde as tarefas são apresentadas, agindo as máquinas, como os possíveis compradores e oferecendo um determinado valor (tempo de realização), pela aquisição da tarefa. A realização da mesma será atribuída à máquina que emitir a melhor oferta. No caso da arquitectura apresentada, o gestor dos equipamentos que constituem a célula, detém a representação dos seus constituintes, analisa a(s) tarefa(s) em causa e emite uma oferta em conformidade. O gestor funciona para o sistema como uma única máquina, abstraindo-o da complexidade da sua associação. Os benefícios que resultam desta situação, devem-se ao facto do número de licitações ser reduzido. De outra forma, se cada máquina emitir uma oferta, o número de licitações tenderá a ser elevado, o que trará associado um maior tráfego na rede de comunicações que é usada para a licitação e um maior número de ofertas a ser analisadas pelo organizador do leilão.

A licitação do gestor, enquanto representante de um conjunto de máquinas potenciais licitadoras, reduzirá o número de mensagens de resposta e consequentemente diminuirá o tráfego na rede de comunicação.

4.2.1.2 Ao Nível do Controlador

Os controladores associam-se a um gestor, responsável por traçar planos para a realização das tarefa atribuídas à célula. Estes planos são posteriormente enviados aos controladores. Estes responsabilizam-se pela execução das diversas operações que constam no plano. Para tal, comunicam entre controladores, formando uma cadeia de produção para cada tarefa atribuída à célula. A realização das diversas operações e transferência entre diferentes equipamentos é efectuada através do diálogo entre os seus controladores. Desta forma, a intervenção do gestor é limitada ao papel de mero administrador da associação de controladores que formam a célula. Esta característica revela a fraca ligação entre gestor e controladores. Através da substituição ou alteração do gestor, o controlador de célula pode funcionar sobre diferentes estratégias.

O funcionamento descrito revela a constituição modular sobre que assenta a estrutura do controlador de célula.

4.2.2 A Modularidade da Arquitectura

As condições de modularidade e autonomia, em suma, as características que realçam a modificabilidade e extensibilidade da arquitectura de controlo, são de grande importância. A desvalorização destes factores durante a fase de concepção do sistema de controlo, acarretar-lhe-à grandes dificuldades em comportar futuras alterações. Esta situação resulta do facto dos sistemas flexíveis de fabrico, exigirem uma grande componente de flexibilidade a curto prazo, ou

seja, que possuam boas características de reconfigurabilidade adaptando-se facilmente à mudança no processo de fabrico. Este facto, repercute-se geralmente num aumento da complexidade do sistema de controlo. A necessidade deste comportar flexibilidade a curto prazo, conduz por vezes à desvalorização de factores como a sua flexibilidade a longo prazo, ou seja modificabilidade e extensibilidade. Assim, na eventualidade de ser necessário intervir na estrutura de controlo, esta intervenção revela-se uma tarefa difícil e onerosa, quer em termos de tempo dispendido, quer em termos financeiros. Esta situação, aliada a frequentes mutações, nomeadamente ao nível tecnológico e à característica de capital intensivo de tais sistemas, leva uma grande parte das empresas a olharem com reserva a utilização de tais sistemas [Upton, 92].

A arquitectura apresentada fundamenta a sua estrutura em factores como a modularidade, ligação fraca entre os blocos constituintes, e a autonomia dos controladores. Desta forma, procura cuidar aspectos de grande importância numa arquitectura de controlo como são o caso da sua extensibilidade e modificabilidade.

4.3 Estrutura do Gestor

O gestor desempenha o papel de elemento agregador dos diversos controladores, que constituem o controlador de célula. A sua acção pode ser comparada com as actividades que ocorrem na nossa sociedade, nomeadamente ao nível da gestão de empresas. Estas possuem um conjunto de serviços ou produtos, que oferecem e são procurados por entidades exteriores à empresa. Tal oferta só é possível, uma vez que a empresa possui um conjunto de recursos humanos, de equipamento, etc, que devem ser utilizados de forma correcta, para que o seu desempenho corresponda aos objectivos a que a empresa se propõe. A empresa recorre geralmente a uma ou mais entidades (gestores), que são responsáveis pela gestão dos recursos, pela definição de metas, pelo traçar de planos de acção, etc.

O gestor do controlador de célula desempenha um papel idêntico em relação à oficina que corresponde ao seu exterior. Oferece-lhe serviços que são procurados por esta exigindo-lhe o cumprimento de determinadas premissas, ou seja, cumprimento de certos requisitos como o tempo de conclusão da tarefa, as prioridades a estabelecer, etc.

O gestor tem de analisar os requisitos, e com base no conhecimento dos recursos que lhe estão afectos, traçar um plano que tenta criar um cenário que satisfaça os objectivos do sistema. Este plano deverá ser atempado, prever um bom nível de utilização dos equipamentos e cumprir os requisitos estipulados para a operação.

A estrutura apresentada pelo gestor é composta por diversos blocos tais como as interfaces, o gestor de recursos, os serviços de registo, etc, que participam nas tarefas de gestão de recurso e planeamento de acção. Ver figura 4.3.

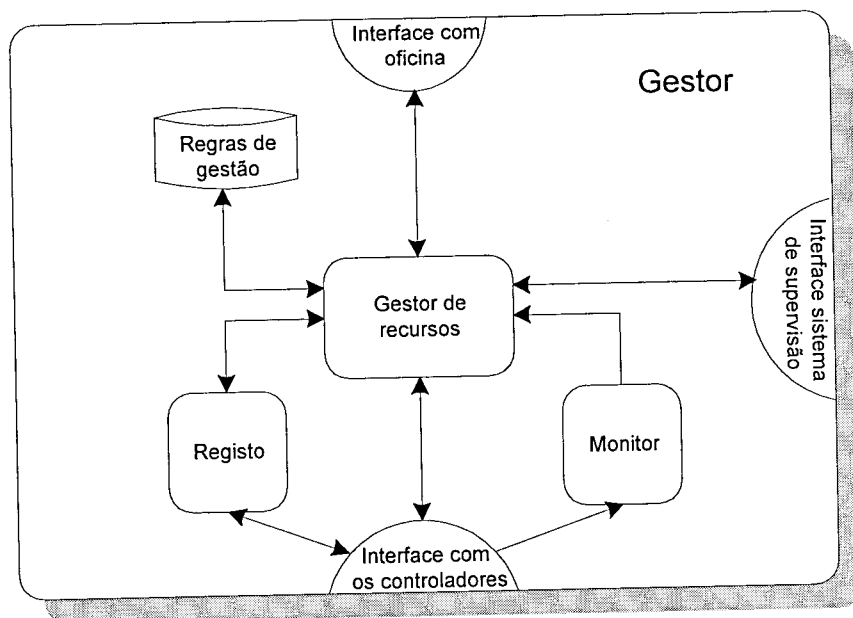


Figura 4.3 - Estrutura do gestor.

Em termos da sua descrição funcional o gestor pode ser dividido em dois níveis: interacção com o exterior da célula e gestão da célula. Esta última corresponde à interacção com o seu interior. Contudo, esta divisão não implica a existência de dois níveis estanques, podendo cada nível comportar funcionalidades que naturalmente se repercutem no outro.

4.3.1 Gestão da Célula

Uma das facetas do gestor é a administração da estrutura do controlador de célula. Este desempenho é efectuado pelo módulo de registo, como mostra a figura 4.3. A descrição do mecanismo de administração e constituição do controlador de célula pode ser descrito genericamente.

Os controladores que formam o controlador de célula registam-se no gestor. Esta operação tem como consequência o preenchimento de uma tabela (registo), na qual serão assinaladas as características mais importantes, referentes ao equipamento associado ao controlador, que formula o pedido de registo. Entre a informação contida no registo encontra-se:

- Identificação da máquina;
- Tipo ou função da mesma;
- Alcance da sua acção. Este parâmetro tem a particularidade de só possuir significado para equipamentos que efectuam manuseamento de materiais, tais como braços mecânicos, mesas de transferência e todos os equipamentos que efectuem serviço de transporte. Pelo facto torna-se necessário conhecer a sua área de influência, ou seja a quem prestam serviço;

- Apontadores para informação, relevante do equipamento. No caso de máquinas CNC, a informação é relativa às ferramentas que possuem nos seus armazéns, bem como o seu tipo.

Este género de informação é de vital importância para o gestor. Uma correcta tomada de decisão, durante o processo de execução de planos dos acção, traçados pelo gestor de recursos, deve ser baseada em parte pela consulta desta informação.

Os equipamentos registados passam a ser conhecidos do gestor e o registo dos mesmos pode ser considerado, como o mecanismo de constituição do controlador de célula e consequente definição da estrutura da célula. O gestor detém o conhecimento da capacidade da célula, tem o direito de a transaccionar, e está apto a receber e a aceitar pedidos de realização de tarefas, nos equipamentos que constituem a célula.

A informação relativa aos elementos que constituem a célula e entidades exteriores a esta que participem no processo produtivo como fornecedores de serviços, também deverá ser tornada do conhecimento dos controladores. Esta tarefa é da responsabilidade do gestor que deverá enviar parte da informação adquirida pelo mecanismo do registo aos diversos controladores que lhe estão associados. A informação referida é importante durante o processo de produção, no qual os controladores comunicam entre si de forma a cooperarem na realização das diversas tarefas.

A actualização, por remoção ou adição de equipamentos registados, deve ser acompanhada por igual procedimento junto dos controladores, relativamente à informação de interesse para a associação. Desta forma, o gestor desempenha o papel de administrador da estrutura do controlador de célula, colectando informação importante para o seu funcionamento e dos diversos controladores que lhe estão associados.

4.3.2 Interacção com o Exterior da Célula

A interacção do gestor com o exterior da célula tem como principal objectivo a transacção com o nível oficina das diversas tarefas que podem ser realizadas pelos equipamentos da célula.

A transacção com o nível oficina, das tarefas a executar no interior da célula, é susceptível de variações consoante a estratégia implementada no referido nível. Esta arquitectura tem a particularidade de procurar que possíveis alterações de estratégia não ponham em causa a estrutura do controlador de célula. A estratégia implementada ao nível oficina não é susceptível de mudanças frequentes. Contudo, não deve ser o controlador de célula a restringir as mudanças ou evolução do sistema de fabrico. O controlador de célula deve antes possuir um elevado grau de insensibilidade a tais mudanças. Nesta arquitectura, uma mudança ao nível da oficina acarretará somente a alteração da forma como o gestor de recursos transacciona com o seu exterior. Esta característica é vantajosa, porque permitirá que o controlador de célula funcione

em ambientes diversos. Concretizando, se por uma determinada razão a empresa decidir remodelar o seu aparelho produtivo, através da expansão da oficina e introdução de novos equipamentos, perspectivando com esta acção, a utilização de uma nova filosofia de coordenação das tarefas ao nível da oficina, tal decisão não implicará em princípio, custos muito gravosos de remodelação de sistemas já existentes na oficina.

Após a transacção efectuada entre o nível oficina e o gestor, este último tem a tarefa de traçar um plano de acção, que deve ser posto em prática pelos controladores dos equipamentos seleccionados pelo gestor de recursos. Para tal faz um teste à capacidade do sistema, ou seja, verifica se existem disponíveis os recursos necessários à total consumação das tarefas que assumiu. A impossibilidade de reunir todas as condições, para a realização das tarefas assumidas, implicará a notificação do nível oficina da impraticabilidade da operação.

Um resultado positivo do teste à capacidade, desencadeia a elaboração de um plano de acção. Este traduz-se pelo escalonamento das diversas tarefas pelos equipamentos registados no controlador de célula. O plano terá em conta as regras de gestão. O problema do escalonamento das tarefas pelos equipamentos não é uma operação simples, pelo contrário trata-se de uma operação extremamente complexa, requerendo uso intensivo de meios com poder de cálculo (CPU). A sua complexidade deriva do facto das tarefas que decorrem na oficina interagirem entre si de forma complexa, fazendo apelo a uma grande coordenação e disponibilidade de equipamentos, ferramentas e materiais.

O alcance da solução óptima de escalonamento das tarefas, seria impraticável do ponto de vista técnico dada a descomunal dimensão do problema [Bauer, 91]. Por exemplo: sequenciar 12 ordens de fabrico com 6 operações, gera $(12!)^6$ ou mais de 10^{52} escalonamentos possíveis. Esta característica torna a abordagem do problema de escalonamento óptimo proibitiva. Acrescente-se que em muitas situações a solução óptima não existe e em termos temporais a solução é impraticável para os sistemas de fabrico.

A solução usualmente aplicada a estes casos, passa pela execução de escalonamentos recorrendo a regras heurísticas. Estas regras práticas, reduzem significativamente os limites de pesquisa da solução do problema. Não se tratando de uma solução óptima, será contudo suficiente para a maior parte dos casos e a custos praticáveis para o sistema de fabrico.

O plano elaborado pelo gestor de recursos é passado aos controladores dos equipamentos seleccionados, para a realização das operações requeridas pelo nível da oficina, contendo este a informação necessária ao processo de controlo das tarefas decorrentes.

A finalizar, há a referir o papel das diversas interfaces, que possibilitam ao gestor interagir com os outros agentes do processo produtivo: nível oficina e controladores a ele associados. É de notar também a existência de uma interface com o sistema Homem/Máquina (HM), que permite

ao operador interferir no desempenho do gestor, nomeadamente intervindo ao nível do escalonamento, quer pela possibilidade de alterar a solução encontrada, quer pela modificação das estratégias aplicadas na solução do problema.

4.4 O Controlador

O controlador é a entidade que coordena as operações, do equipamento que lhe está associado na estrutura celular. Estando o equipamento apetrechado com o seu próprio controlador local, que faz parte da solução do fabricante, pode questionar-se a necessidade da utilização de um sistema para coordenar as operações de um equipamento, que por si só está preparado para funcionar de forma autónoma. A resposta encontra-se no facto de existir uma grande diferença entre os dois níveis de controlo praticado [Albus].

Os requisitos exigidos nos dois níveis diferem substancialmente. Ao nível do controlo das funções desempenhadas no interior dos equipamentos fabris, são requisitos comuns:

- Capacidade de recolha de informação, geralmente efectuada através de sensores;
- Tomadas de decisão, com base na leitura do estado dos sensores;
- Controlo de acção.

Este tipo de controlo não exige um grau elevado de inteligência dos dispositivos que o implementam. As funções de controlo deste nível são normalmente desempenhadas por autómatos programáveis (PLC), controladores remotos (RC) e CNC (Computer Numerical Control). Estes dispositivos são também conhecidos pela sua limitação no manuseamento de estruturas de dados complexas.

A incorporação do equipamento numa entidade organizacional complexa, no caso o sistema de fabrico, implica a necessidade de um nível superior de inteligência do sistema, que lhe proporcione a capacidade de reconhecer:

- Objectos;
- Eventos, que impliquem a pratica de soluções complexas, como recuperação de situações anormais;
- Manusear e armazenar conhecimento importante ao desempenho de um sistema complexo.

A necessidade de colmatar as limitações dos dispositivos de controlo dos equipamentos, na coordenação do processo decorrente na oficina, implica a necessidade de providenciar uma entidade que funcione num nível superior. Esta entidade é denominada no presente trabalho por controlador.

Os requisitos dos diferentes níveis de controlo podem ser observados na tabela 4.1, onde constam os diversos problemas de controlo e a sua natureza estática e dinâmica.

Tabela 4.1 - Diferentes níveis do problema de controlo.

Nível de controlo	Tipo de controlo	Controlo estático	Controlo dinâmico
Controlo do processo (oficina)	discreto (eventos)	escalonamento	reescalonamento dinâmico
Controlo local (equipamento)	contínuo	setup	controlo baseado no modelo

4.4.1 Objectivos

O controlador tem como função trabalhar os planos traçados pelo gestor da célula e em última análise mapeá-los em acções básicas perceptíveis aos controladores locais dos equipamentos fabris. Estas acções podem corresponder à transferência de programas, parâmetros de configuração, actuação de cilindros pneumáticos, motores, etc.

O processo de transformação dos planos de acção consiste na sua decomposição em subplanos ajustados aos diferentes níveis do controlador.

A informação contida nos planos possui um grau de resolução baixo. Isto significa que a informação ao nível superior é suficientemente genérica, susceptível de diversas tomadas de decisão e de negociação com entidades exteriores que participam no processo de produção. No nível inferior os planos têm uma maior resolução, ou seja contêm informação específica, destinada à interacção com o dispositivos fabris e à sincronização com outras entidades, equipamentos ou operadores que participem na operação.

4.4.2 A Estrutura do Controlador

O controlador apresenta uma estrutura constituída pelos seguintes blocos funcionais: coordenador, executor, monitor e interfaces, como se pode ver na figura 4.4.

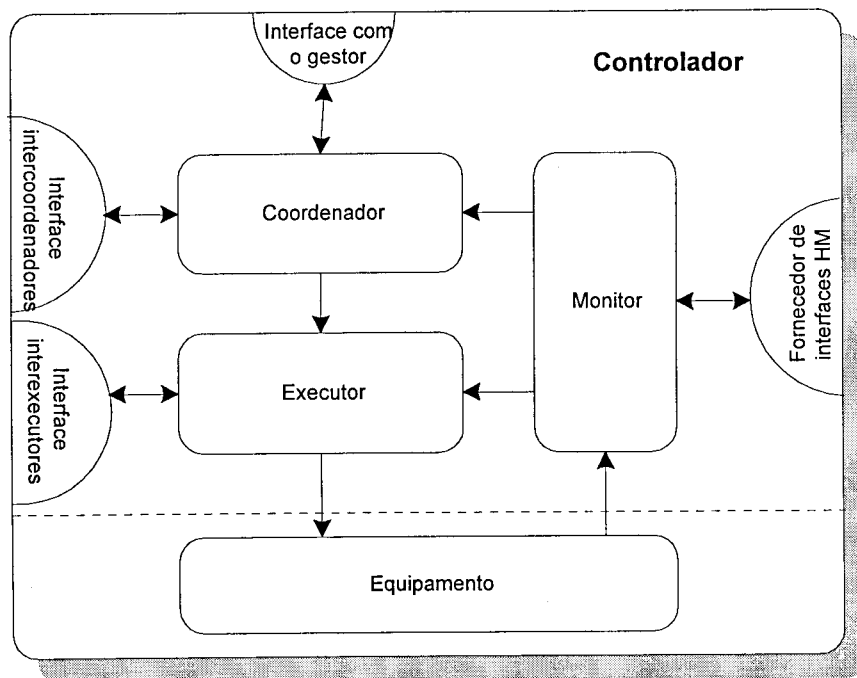


Figura 4.4 - Estrutura do controlador.

Esta estrutura pode ser observada como um controlador da actividade de produção (PAC Production Activity Control) [Bauer, 91]. Saliente-se contudo que no presente caso, este não prevê função de escalonamento. Esta tarefa é contratada ao gestor. Uma outra diferença significativa prende-se com a utilização deste em cada entidade e não englobando todos os equipamentos da célula. Isto significa que o controlo da actividade da produção encontra-se distribuída. Esta distribuição é consequência da forma como é constituído o controlador de célula, que resulta de um conjunto de controladores, cada um possuindo uma estrutura semelhante a um PAC.

A consequência da distribuição do controlo da produção pelos controladores, traduz-se por uma maior simplicidade do controlador da célula.

Apresenta-se de seguida uma descrição sumária dos blocos que constituem o controlador.

4.4.2.1 O Coordenador

Este bloco é responsável pelo despacho das operações a executar no equipamento que lhe está associado, na altura prevista para a sua realização. O coordenador está incumbido de traçar o plano de acção, providenciar e verificar os requisitos necessários à sua execução. Desta forma,

garante que as operações que lhe foram atribuídas possam ser cumpridas. Este plano é posteriormente enviado ao bloco executor. O coordenador, para desempenhar estas funções, necessita de um conjunto de informação:

- Plano (escalonamento) das tarefas traçados pelo gestor;
- Informação do processo (planeamento do processo);
- Estado dos equipamentos que vão participar no processo.

Esta é essencial para uma correcta tomada de decisão do bloco coordenador, perante os mais diversos cenários que se lhe possam deparar.

O funcionamento do coordenador pode ser descrito da seguinte forma. Começa por analisar a informação contida no plano fornecido pelo gestor. Na altura apropriada inicia o processo que conduzirá à realização das operações. Utiliza para tal a informação relativa ao processo e o conhecimento do estado do equipamento. De seguida certifica-se da disponibilidade dos equipamentos que intervêm no processo. Desta forma testa a possibilidade de existência de bloqueio (*deadlocks*), prevenindo a sua ocorrência [Wysk, 91], [Viswanadham, 90], [Banaszak, 90]. Este procedimento evita que o sistema fique bloqueado. O bloqueio do processo é uma situação gravosa, para o sistema de fabrico implicando acentuada degradação da performance e prejuízos elevados para o sistema. Finalmente, após a reunião de todas as condições, envia um plano de acção para o executor, no qual é descrito de uma forma específica as tarefas a executar pelos equipamentos.

4.4.2.1.1 Recuperação de Falhas

Durante o evoluir do processo podem ocorrer diversos tipos de falhas. Estas podem ocorrer quer devido a incidências do processo, quer devido ao próprio sistema de controlo. De seguida serão referidos dois tipos de falhas que se podem deparar.

4.4.2.1.1.1 Perturbações no Processo

O coordenador quando procede à execução do despacho de uma determinada operação baseia-se em regras de despacho, decidindo que tarefa deve lançar. Durante o processo de preparação, o coordenador pode deparar com problemas de cumprimento das tarefas planeadas pelo gestor, como se verifica no exemplo seguinte.

O controlador de um determinado equipamento, através do seu módulo coordenador, inicia os preparativos para o início das operações das tarefas que está incumbido de realizar. Contudo, verifica que o controlador do equipamento que deve proceder à operação seguinte não lhe responde, de modo a confirmar a disponibilidade para dar continuação ao processo.

Este cenário pode eventualmente propiciar duas soluções:

- O coordenador verifica a impossibilidade do processo desenrolar-se normalmente e decide informar o gestor dessa impossibilidade.

O gestor perante este cenário, em que a célula perde capacidade de realização das tarefas planeadas e que consequentemente provoca a inconsistência dos planos traçados por si anteriormente, reescala a ou as tarefas pelas máquinas existentes na célula. Caso não exista essa capacidade, o nível oficina terá de ser notificado da impossibilidade de cumprimento das tarefas em causa.

- O coordenador possui poder de decisão e reage à anomalia. Verifica o plano traçado pelo gestor, as possíveis máquinas que poderão efectuar a operação, mas sem contudo terem sido alvo de escalonamento. Envia a essas máquinas um pedido de execução da operação em causa. Com base nas regras de despachos controladores, poderão negociar entre equipamentos um plano de realização das tarefas em causa.

É de salientar contudo que esta última solução não é uma característica desta arquitectura. A sua implementação está limitada pelo próprio conceito de célula. A implementação deste tipo de recuperação só fará sentido quando a redundância de operações for significativa. Consequentemente este tipo de solução é aplicável, mas em casos restritos onde a configuração da célula apresente uma redundância de operações razoável.

4.4.2.1.1.2 Deadlocks

Um outro tipo de falha que pode ocorrer, é designada por *deadlock*. Esta é caracterizada pela evolução do sistema para um estado do qual não consegue sair pelos seus próprios meios. Um exemplo simples pode ser observado na figura 4.5.

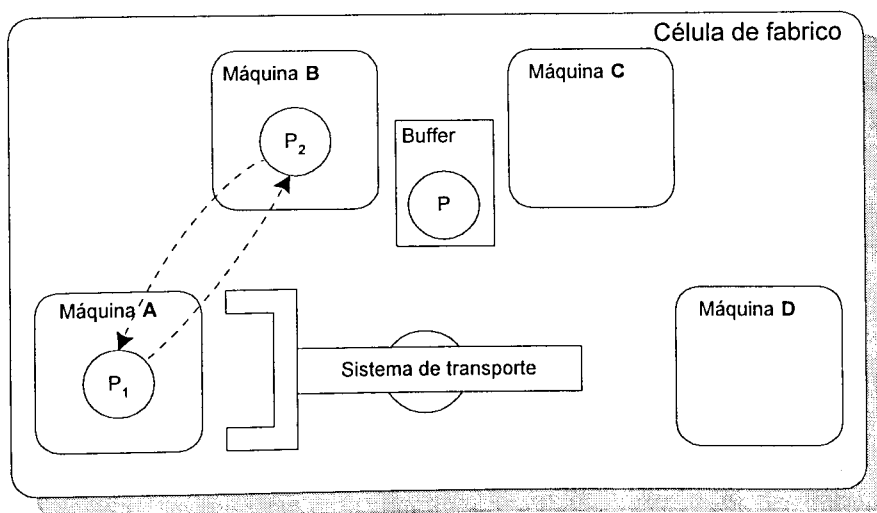


Figura 4.5 - Situação de bloqueio numa célula de fabrico.

Neste exemplo, a máquina **A** está ocupada a efectuar uma operação numa peça P_1 . A máquina **B** está carregada com uma peça P_2 e o buffer auxiliar da máquina **B** encontra-se ocupado. A sequência do processo determina que a peça P_1 , após sofrer a operação na máquina **A**, seja transferida para a máquina **B**. O contrário ocorre em relação à peça P_2 , que após ser trabalhada em **B** deverá ser transferida para **A**. Assim, após a conclusão da operação numa das máquinas, é requerido ao braço mecânico que efectua o serviço de transporte, a transferência para a máquina correspondente. Desta forma, o sistema de transporte recebe uma ordem que não poderá efectuar, entrando num estado de bloqueio (*deadlock*). O sistema atingiu um estado do qual não pode sair, sem intervenção externa.

A ocorrência de *deadlocks* é bastante gravosa para o desempenho do sistema. Este tipo de acontecimento verifica-se sobretudo em sistemas onde o funcionamento é automático, ou seja, a intervenção do homem é reduzida.

Os *deadlocks* geralmente surgem após uma sequência complexa de operações, sendo de difícil detecção. Em muitos sistemas, a opção para resolver tais casos passa pela libertação dos buffers ou máquinas, e reiniciar o sistema a partir do estado que seja reconhecido como livre da ocorrência do *deadlock* [Viswanadham, 90]. A sua ocorrência é de certa forma consequência da implementação de planos (escalonamentos) aproximados que geralmente recorrendo a regras heurísticas, não consideram todas as possibilidades na sua elaboração [Wysk, 91].

A resolução deste tipo de *deadlocks* é relativamente simples de implementar nesta arquitectura, dado o carácter autónomo dos controladores. Esta é efectuada da forma que a seguir se descreve. O coordenador verifica todas as condições para iniciar uma tarefa. Contacta os equipamentos que vão intervir no processo. Se o equipamento contactado não considerar estar apto para efectuar a operação indica-o ao controlador que o contactou. Concretizando, o controlador contactado é responsável por verificar se pode receber directamente a peça que está a ser transformada, ou indirectamente, se existir espaço no seu buffer de recepção. Com base na informação deste diálogo o controlador do equipamento contratante poderá retardar a ordem de início da operação ao nível inferior, evitando assim atingir um estado de bloqueio do sistema.

4.4.3 O Executor

É o nível inferior da estrutura do controlador. É sua responsabilidade assegurar a interacção com os dispositivos de controlo (controladores locais) dos equipamentos fabris. A sua função pode ser dividida em duas acções principais:

Acção de produção. Ocupa-se com a interacção, com o equipamento ou com o operador responsável por executar a operação;

Acção de Movimentação. Responsável pela coordenação entre o equipamento e os sistemas, ou pessoas responsáveis por efectuar as operações de manuseamento de materiais tais como braços mecânicos, veículos guiados automaticamente (AGV), transportadores, etc.

4.4.3.1 Acção de Produção

A acção de produção obedece ao plano traçado pelo coordenador, no qual estão indicados, os programas, ferramentas utilizadas no processo (no caso da operação prever trocas de ferramentas), configurações a executar, etc. Com base nesse plano, o executor efectua diversas operações:

- Providência os programas, que de certa forma são os planos de acção (traçados pelo planeamento do processo) das operações a realizar pelo controlador local do equipamento;
- Realização de setups antes do iniciar as operações;
- Ordena o arranque, e / ou paragem do equipamento.

O executor interage com o controlador local do equipamento, recorrendo a protocolos de comunicações que permitam esconder a heterogeneidade dos equipamentos construídos por diferentes fabricantes.

4.4.3.2 Acção de Movimentação

A acção de movimentação, coordena as operações de manuseamento dos materiais e carga/descarga do equipamento. Envia o pedido à entidade que participa nessa operação, o qual deverá precisar o tipo de operação. Os receptores deste pedido poderão ser braços mecânicos (robots), transportadores, operadores, etc. No decorrer da operação os intervenientes deverão estar sincronizados, sendo a função movimentação responsável pelo diálogo entre equipamentos. Como exemplo descreve-se a carga de uma máquina por um robot:

- A máquina está em posição de segurança. Os seus órgãos móveis encontram-se afastados da área de operação. A porta e a garra encontram-se abertas. As ferramentas estão afastadas;
- A máquina indica ao robot que este pode iniciar a operação de carga;
- Em seguida aguarda que o robot indique que se encontra em posição de transferência de material;
- Prossegue com o fecho do dispositivo de fixação do material;
- Envia a indicação ao robot que a operação de transferência de material está efectuada;
- Aguarda que o robot lhe indique que está fora da máquina;

- O procedimento termina com o encerramento da porta e com o início operação de maquinaria.

As operações referidas, deverão ser desempenhadas sem sujeitar os equipamentos a situações de risco, que ponham em causa a sua integridade. Esta exigência revela a grande necessidade de sincronização entre as entidades que efectuem a operação.

4.4.3.3 Recuperação de Falhas

A recuperação de falhas a este nível, refere-se a acontecimentos ocorridos durante o processo de transformação.

O controlo das operações no equipamento, corresponde à execução de uma sequência de minitarefa, as quais vão evoluindo até atingir o objectivo, ou seja a conclusão da operação. A análise da evolução das diversas minitarefa através de informação proveniente do equipamento, permite estabelecer condições de recuperação de erros. Para isso há que ter presente o estado actual e a informação associada ao desempenho do equipamento. Assim, perante situações de erro, o executor pode encetar medidas de recuperação e evoluir para um estado bem determinado.

Diversas situações de erros que surgem são passíveis de resolução e de retomar o processo. O caso de rupturas de ferramentas é um caso específico que implica a paragem do processo. A troca da ferramenta danificada poderá eventualmente ser a condição suficiente (caso em que o material a transformar não foi danificado), para que se reate a operação. Contudo, pode colocar-se a questão de onde se deverá reiniciar o processo. Os programas de controlo numérico, estabelecem um plano com as trajectórias a desenvolver pela máquina isento de colisões. A questão de reiniciar uma operação a meio pode não ser trivial, podendo mesmo ocasionar situações de colisão. Retomar a operação do início pode ser na maior parte dos casos uma má solução, pois o processo de maquinaria poderá ser demorado e traduzir-se pelo trabalho em vazio da máquina nas zonas já maquinadas.

A gestão destas situações de erro fica facilitada pela introdução de marcas, ou seja pontos de referência, onde a operação possa ser parada ou reatada em segurança [Senehi, 91]. As marcas são definidas quando é efectuado o planeamento do processo e deverão ser analisadas correctamente pelo controlador.

4.4.4 O Monitor

Os níveis do controlador, coordenador e executor, necessitam de informação sobre o estado do processo, de forma precisa e consistente. Esta é essencial para o bom funcionamento do controlador e para que sejam correctas as decisões tomadas perante os mais diversificados cenários. Esta exigência estabelece a necessidade da existência de um monitor, o qual deverá recolher informação proveniente do dispositivo de controlo do equipamento, filtrar e organizar a

informação, realimentando os níveis do controlador com informação relevante para o seu funcionamento.

O desempenho das tarefas executadas pelo monitor podem ser decompostas nos seguintes módulos.

4.4.4.1 Recolha de Informação

Este bloco é responsável pela aquisição da informação provida dos dispositivos que constituem o equipamento fabril. Os dados são recolhidos em tempo real, permitindo assim uma realimentação dos centros de decisão, de forma rigorosa no decorrer do processo.

4.4.4.2 Análise da Informação

Este nível funcional é responsável pela descodificação do tipo de dados recolhidos, filtrando a diversa informação, fazendo-a chegar aos locais em que possua significado e verdadeiro interesse.

4.4.4.3 Funções Relacionadas com Análise da Informação

As funções relacionadas com a aquisição e análise da informação recolhidas dos dispositivos de fabrico podem prender-se com controlo de qualidade e manutenção preventiva. Estas funções são de extrema importância para o sistema de fabrico, evitando que alguns recursos sejam desperdiçados ou subaproveitados: quer por não cumprirem os requisitos de qualidade estipulados e que fazem parte da imagem transmitida da empresa para os seus clientes, quer por paragens não programadas de equipamentos, que pelo seu custo e impacto no sistema de fabrico, se traduzem em grandes prejuízos para a empresa.

4.4.4.3.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva permite prever com antecedência paragens para reparação ou mesmo substituição de determinados dispositivos, ferramentas, etc, e que se encontram próximo de atingirem o tempo de exploração para que foram projectados, ou que comecem a ter sintomas de funcionamento anormal.

O conhecimento prévio do tipo de necessidades e sua localização, permite escalonar uma paragem para manutenção, mais rápida e com menor impacto no sistema.

4.4.4.3.2 Controlo de Qualidade

O controlo de qualidade é de extrema importância quando se pretende ser competitivo [Couturier, 92]. A detecção imediata do incumprimento dos objectivos, permite limitar o número de peças inutilizadas de um lote. Esta acção traduz-se em grandes vantagens para o sistema, quer em termos de ocupação inútil de equipamentos, quer pela diminuição das perdas de materiais. O

impacto deste controlo traduz-se também numa diminuição da margem de segurança em stocks (materiais e produtos acabados), para colmatar este tipo de falhas.

Concluindo, a implementação destas estratégias nesta arquitectura, é relativamente simples, devido à autonomia dos controladores e a consequente redução de escala do problema. O facto de cada controlador se responsabilizar por manter o equipamento que controla dentro dos parâmetros pretendidos, evita a concepção de níveis de controlo mais complexos, responsáveis por diversos equipamentos, com necessidades de análise de uma maior diversidade de parâmetros.

4.4.5 A Interface Homem/Máquina

O aumento da automatização dos sistemas de produção, não deve ser interpretado como a exclusão das pessoas da oficina. É importante salientar que as pessoas continuam a ser um factor de grande importância numa empresa. O Homem é o elemento mais flexível em todo o processo, a sua capacidade de intuição e rápida aprendizagem do processo, permite-lhe adaptar-se rapidamente, ou mesmo resolver muitas situações que ocorrem ao nível da oficina.

O facto dos sistemas tenderem para um grau elevado de automação das tarefas desempenhadas, deve ser entendido como uma tendência para a diminuição de algumas tarefas manuais e um aumento de funções de supervisão.

A arquitectura apresentada prevê dois níveis de acesso de um sistema de interfaces Homem Máquina (HM) ao controlador de célula:

- **Acesso ao nível de gestão da célula.** Com possibilidade de supervisionar e eventualmente intervir nas tarefas de escalonamento;
- **Acesso ao controlador.** Este acesso prende-se essencialmente com funções de supervisão, análise de performance do equipamento e recuperação de estados não previstos (por exemplo e ruptura da ferramenta de uma máquina).

Em termos funcionais a interacção com o sistema interface HM, processa-se da forma que a seguir se refere. O sistema de interface HM negocia com um fornecedor de serviços para interfaces o envio das variáveis que pretende analisar. É oferecida a possibilidade ao sistema de interface HM a escolha de um conjunto de variáveis pertencente ao domínio das variáveis adquiridas pelo monitor.

Sempre que exista uma alteração do valor de alguma variável contratada o Fornecedor de serviços para interfaces HM, envia-a ao sistema que a contratou.

Há a salientar que a interface pode funcionar remotamente e o fornecedor de serviços poderá fornecer vários sistemas de interface HM. Esta característica permite que o processo possa ser acompanhado e analisado de diversos locais.

4.5 Conclusão

Neste capítulo foi apresentada uma arquitectura de controlador de célula. A sua elaboração teve em consideração os factores analisados no capítulo anterior. Assim, a sua estrutura procura entre outras condições, apresentar características importantes numa arquitectura de controlo como sejam, a modificabilidade e extensibilidade. Para tal recorre a uma configuração modular dos seus elementos, aliado a um grau apreciável de autonomia dos mesmos. Desta forma, o controlador de célula é observado como um elemento integrante da arquitectura de controlo, que deve como tal contribuir para eficiência do seu funcionamento. Da mesma forma não deve ser obstáculo à eventual evolução da arquitectura, permitindo que alterações ou expansões da estrutura de controlo se processem facilmente.

A arquitectura de controlador de célula, foi definida em dois módulos principais: gestor e controladores. O primeiro actua como mediador com o nível oficina, e agrega e gere os controladores em torno de um objectivo, o controlo da célula. Este tipo de actuação revela também a função de adaptador isolando a estrutura do controlador de célula do nível oficina. Esta separação facilita a adaptação a diferentes estratégias implementadas ao nível da oficina, sendo necessário prever este tipo de funcionamento, no módulo do gestor responsável pela interpretação e análise dos pedidos realizados com esse nível. Os segundos, são responsáveis pelo controlo das operações no seu equipamento e coordenação do processo ao nível da célula.

A arquitectura apresenta a possibilidade de um funcionamento híbrido, situando-se entre a arquitectura hierárquica modificada e heterárquica. Ou seja, o controlador de célula poderá operar num ambiente onde o nível oficina transaccione as tarefas com as células de fabrico através de diferentes mecanismos. Desse modo pode ser implementada quer numa filosofia hierárquica, quer heterárquica, ou mesmo numa solução que preveja os dois funcionamentos.

Esta arquitectura será alvo de especificação na terceira parte deste trabalho, a qual será processada em termos funcionais dos elementos que a constituem e da informação básica necessária ao seu funcionamento.

Parte III

Especificação da Arquitectura de Controlo

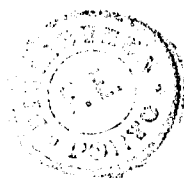
Na parte II foi formulado um problema relativo à necessidade de especificação de um controlador de célula. Também foi analisada a sua envolvente, culminando com a apresentação de uma arquitectura para um controlador de célula. A arquitectura apresentada baseia-se numa estrutura modular, na qual o controlador de célula é composto por um módulo de gestão e um de controlo. O primeiro, denominado por gestor, é responsável pela administração da estrutura do controlador de célula e por transaccionar com o nível oficina as tarefas a desempenhar na célula. O módulo de controlo é constituído por um conjunto de controladores com um grau considerável de autonomia. Estes associam-se ao módulo de gestão, que lhes fornece as directivas de forma a poderem cooperar entre si na realização das tarefas afectas à célula.

O principal objectivo dos capítulos que se seguem, é a análise e especificação da arquitectura de controlador de célula apresentada neste trabalho.

A arquitectura deve ser entendida como a especificação das componentes lógicas e suas interfaces. A sua especificação baseia-se numa análise funcional, assim como da informação associada e interacção entre os diversos componentes lógicos da arquitectura [Zwegers, 95].

Será estabelecido um protocolo básico de comunicações, baseado na troca de um conjunto de mensagens entre os seus utilizadores. Notas de implementação serão sugeridas em casos específicos dos diversos pontos focados.

A apresentação processar-se-á em torno dos dois blocos principais que constituem o controlador de célula. Assim no capítulo 5 será apresentada a especificação do gestor, no capítulo 6 será apresentado o controlador.



Especificação do Gestor

5.1 Introdução

O gestor é a entidade que reúne um conjunto de controladores com o objectivo de formarem uma organização. Cada associado está especializado numa determinada área, conferida pela especialização do equipamento que controla. Esta organização fortemente especializada pode ser designada por controlador de célula.

O gestor tem a função de rentabilizar a utilização dos recursos da organização e transaccionar com o exterior (nível oficina), os serviços a fornecer pela organização (célula). O gestor actua como o interlocutor dos agentes do sistema de fabrico: ao nível superior com a oficina, ao nível inferior com os controladores a ele associados, e de uma forma lateral, com os sistemas de interfaces HM.

A localização do gestor entre o nível oficina e os controladores, confere a este um papel de charneira do sistema. Deve a sua especificação ser orientada no sentido da não fixação a factores estruturais, que impliquem que eventuais alterações na estrutura do controlador de célula se tornem difíceis.

O gestor é constituído por um conjunto de módulos funcionais: interfaces, gestor de recursos, serviços de registo e monitor, os quais participam nas diversas tarefas da responsabilidade do gestor. De seguida será feita a análise de cada módulo.

5.2 O Gestor de Recursos

O gestor de recursos representa o núcleo do gestor. Nele se inserem funções que permitem interpretar e analisar os pedidos do nível oficina, como ilustra a figura 5.1. Permite também estabelecer juízos de valor sobre as diversas estimativas de custos e benefícios das várias tarefas. Utiliza para o efeito critérios que possibilitam formular, quer propostas de execução para o nível oficina, quer planos de acção para os controladores que lhe estão associados.

5.2.1 Análise Funcional

Antes de se proceder à análise funcional dos módulos que compõem o gestor de recursos, importa referir a respectiva configuração apresentada neste trabalho.

A inserção do controlador de célula em sistemas de controlo, que implementam diferentes filosofias de controlo, depende da configuração apresentada pelo gestor de recursos. Esta versatilidade revela a característica híbrida desta arquitectura, possibilitando a eventual adaptação do controlador de célula a sistemas de controlo hierárquico, heterárquico ou híbrido. As várias filosofias apresentam-se adaptadas de forma diferente a condições particulares de funcionamento dos sistemas de fabrico [Bongaerts, 95], tal como:

- A hierárquica apresenta bom desempenho em sistemas onde as perturbações no processo de fabrico são reduzidas;
- A heterárquica é indicada para sistemas nos quais o nível de perturbações é significativo;
- A híbrida é uma solução de compromisso, podendo operar quer de forma hierárquica ou heterárquica.

A configuração do gestor de recursos especificada para este trabalho apresenta uma configuração híbrida permitindo que o controlador de célula execute as tarefas:

- Transaccionadas ao item [Pimentel, 90], com um escalonamento grosso no nível oficina;
- Transaccionadas por negociação com a oficina [Diits], participando desta forma no processo de escalonamento das tarefas.

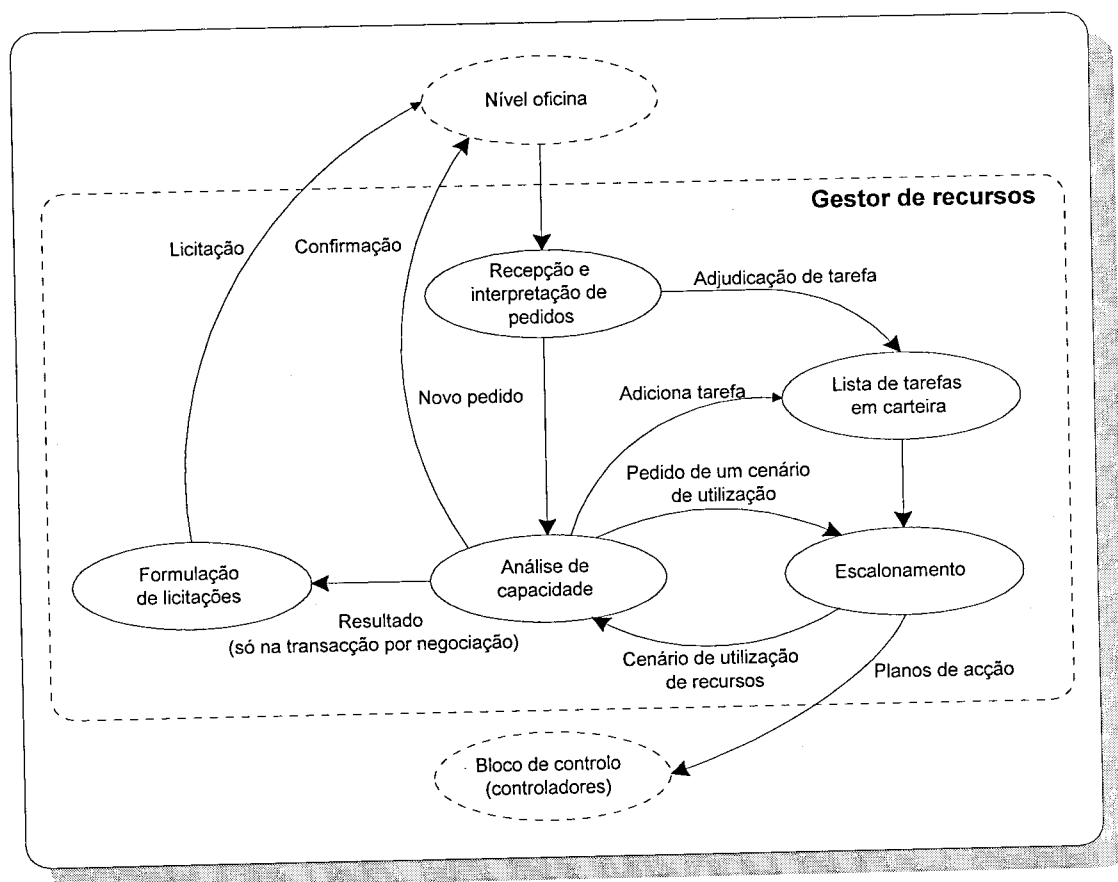


Figura 5.1 - Estrutura do módulo gestor de recursos.

5.2.1.1 Recepção e Interpretação dos Pedidos

Este bloco providencia a recepção e interpretação das mensagens. Estas podem pertencer a dois mecanismos distintos de transacção das tarefas com o nível oficina:

- **Atribuição;**
- **Negociação.**

Após a sua interpretação, as mensagens serão passadas ao módulo de análise de capacidade, ou eventualmente, caso se trate da aceitação de uma licitação, esta validará a correspondente tarefa na lista de tarefas que se encontram atribuídas à célula.

5.2.1.2 Análise de Capacidade

O presente bloco funcional, estabelece um teste à capacidade dos equipamentos, verificando se o pedido pode ser satisfeito. A necessidade deste teste deve-se fundamentalmente a duas razões:

- **Resolução do escalonamento do nível superior.** A natureza aproximada do escalonamento superior (escalonamento grosso), é susceptível de não prever todos pormenores no seu desenvolvimento;
- **Participação no escalonamento superior.** A implementação de uma estratégia de licitação de tarefas, como forma de produzir um escalonamento pelos diversos agentes do processo fabrico, implica a necessidade de avaliar e analisar a sua exequibilidade, como suporte para o módulo de formulação de ofertas do mecanismo de licitação.

O bloco de análise de capacidade é também responsável por verificar se as operações podem ser atribuídas a equipamentos da célula, bem como por analisar a tabela de ocupação dos equipamentos, verificando se existe disponibilidade dos mesmos para efectuar as operações pretendidas.

As operações são avaliadas por ordem inversa de realização, de forma que os prazos de realização sejam cumpridos.

Quando exista algum cenário onde as condições não sejam satisfeitas, este bloco efectua um pedido ao escalonador para que este dinamicamente estabeleça cenários, nos quais eventualmente seja possível o cumprimento dos prazos estabelecidos para a realização das operações.

A impraticabilidade da tarefa, terá como consequência:

- **Na transacção por atribuição,** o envio de uma mensagem identificando ao nível oficina as causa da impossibilidade de cumprir a tarefa pedida;
- **Na transacção por negociação,** transfere os resultados do teste para o bloco de formulação de licitações, os quais serão analisados através de critérios que têm por base a negociação.

A praticabilidade da operação implicará:

- **Na transacção por atribuição,** a transferência da tarefa para a lista das tarefas atribuídas, sendo considerada como confirmada;
- **Na transacção por negociação,** a tarefa é transferida para a lista de tarefas atribuídas à célula, mas não sendo considerada como confirmada;
 - A sua confirmação será efectuada por uma mensagem de adjudicação da tarefa à célula;
 - O cancelamento e consequente remoção da lista, é efectuada por intermédio de indicação do nível superior ou ultrapassagem do tempo de validade associado à reserva da tarefa na lista.

5.2.1.3 Formulação de Licitações

O resultado do teste à capacidade de uma tarefa alvo de transacção por negociação, é analisado. Segundo o critério de negociação implementado e com base no resultado dessa análise, este módulo:

- **Abstém-se** de licitar quando o resultado do teste à capacidade revela a impossibilidade de cumprir integral ou parcialmente a tarefa;
- **Formula uma licitação:**
 - Parcial, relativamente ao número de itens a efectuar;
 - Parcial, relativamente ao número de operações incluídas na tarefa;
 - Total.

O conteúdo da licitação, com os intervalos de tempo onde podem ser realizadas as operações, ou a tarefa, é enviado ao sistema que implementa este mecanismo no nível oficina. No caso de eleição da licitação produzida, o nível oficina envia uma mensagem de adjudicação, a confirmar a reserva da tarefa na lista de tarefas em carteira.

5.2.1.4 Lista de Tarefas em Carteira

A lista de tarefas em carteira pode ser comparada à carteira de negócios de uma empresa. Esta é constituída pelo conjunto de negócios acordados com os clientes da empresa, estabelecendo assim a ocupação desta durante um determinado período de tempo.

A analogia com a célula é considerável. As tarefas contidas na lista funcionam como os negócios da empresa, revelando a sua ocupação futura. O caso das tarefas não confirmadas, são comparáveis aos concursos públicos a que as empresas concorrem. Estes são susceptíveis de ser conseguidos ou não.

Esta lista serve de apoio ao escalonador na elaboração de planos para as diversas tarefas. Nesta encontram-se vários tipos de tarefas:

- Confirmadas e escalonadas;
- Confirmadas e não escalonadas;
- Não confirmadas.

5.2.1.5 Escalonador

O escalonador é o bloco responsável por planear a execução das operações contidas na lista das tarefas em carteira. Efectua também planos dinâmicos das tarefas que vão sendo solicitadas à célula. O módulo de teste à capacidade vai afectando tarefas aos equipamentos que as possam

efectuar. Esta alocação de tarefas fica registada numa tabela de ocupação dos equipamentos, que só é usada pelo módulo de teste à capacidade.

O escalonador é responsável por periodicamente analisar a lista das tarefas em carteira e quando necessário efectuar um escalonamento das tarefas não escalonadas. Um escalonamento também deverá ser efectuado quando pedido pelo módulo de teste à capacidade. Esta forma de funcionamento tem os seguintes objectivos:

- Trabalhar num horizonte ligeiramente diferido. Desta forma, pretende-se melhorar a utilização dos equipamentos, ou seja, sabendo as tarefas que tem para executar, os seus limites temporais e os equipamentos disponíveis, é possível traçar planos de produção eventualmente mais optimizados;
- Tentar resolver, a pedido do módulo de análise de capacidade, situações de mau sequenciamento. Este tipo de problemas foi referido em §3.4.3.1.2.4.2 ;
- Evitar listas de tarefas eventualmente longas por escalonar;
- Refrescar a lista de alocação de recursos do módulo de teste à capacidade e traçar cenários para eventual resolução de conflitos;
- Traçar planos de acção para os equipamentos e sua transmissão aos controladores responsáveis pelos mesmos.

5.2.1.5.1 Plano de Acção para os Controladores

O escalonador, tal como foi referido anteriormente, é responsável pela execução dos planos de acção a enviar para os controladores. A sua formulação é baseada na informação que o módulo escalonador possui, quer sobre os equipamentos e as tarefas a executar, quer sobre o conjunto das diversas regras aplicadas nos algoritmos de escalonamento. O plano é pois o resultado final da formulação de diversos cenários de utilização dos equipamentos. Este estipula a utilização dos diferentes equipamentos intervenientes no processo. Contudo, só entra em conta com os equipamentos que efectuem operações de transformação sobre materiais, não escalonando o sistema de transporte.

5.2.1.5.1.1 Exclusão de Escalonamento de Tarefas do Sistema de Transporte

O motivo pelo qual o sistema de transporte não é alvo de escalonamento, deve-se essencialmente ao facto do movimento dos materiais no interior da célula ser um processo rápido relativamente ao processo de transformação. O sistema de transporte é solicitado de forma significativa pelos equipamentos. Desta forma, o escalonamento das operações do equipamento transportador revelava-se prejudicial baixando a performance do escalonamento global, podendo à mínima perturbação ou atraso num dos equipamentos, tornar ultrapassado o escalonamento

inicialmente traçado. Nesta circunstância o escalonamento das tarefas do transportador poderia ser considerada como o estrangulador do processo (*Bottleneck*). Assim, o processo de escalonamento das tarefas desempenhadas pelo sistema de transporte é executada em tempo real, pelo controlador do mesmo à medida que lhe são efectuados os diversos pedidos de serviço.

A solução optada é semelhante ao que se passa na vida real, com o serviço de transportes. Os horários de um determinado autocarro são um exemplo de um serviço escalonado antecipadamente. A saída do autocarro processa-se sempre a uma determinada hora a que o utilizador se sujeita. Por outro lado, recorrendo ao serviço de táxi, o utilizador encontra uma solução mais flexível. O serviço será efectuado imediatamente pelo táxi disponível.

Nesta abordagem o sistema de transporte adapta-se ao processo e não procura adaptar o processo ao sistema de transporte.

5.2.1.5.1.2 Formulação de Planos Individuais

O processo de escalonamento culmina com a concepção de planos individuais para envio aos controladores de equipamentos que participam no processo. A constituição destes planos prevê o fornecimento da informação essencial aos controladores para coordenarem entre si o processo de produção:

- Código da operação;
- Número de operações a realizar;
- Equipamento antecessor no processo de fabrico;
- Equipamento sucessor no processo de fabrico;
- Tempo de operação;
- *Deadline* para a conclusão da operação.

5.2.1.6 Conclusão

A arquitectura apresentada está definida de uma forma modular e com uma estrutura que lhe permite um bom grau de insensibilidade aos diversos tipos de filosofia empregue ao nível da oficina, possibilitando a sua eventual adaptação a diferentes filosofias de controlo.

Foi referido em §3.4.3.1, a influência do tipo de transacção entre o nível oficina e célula e foram apresentados vários métodos de transacção entre os dois níveis. As suas implicações nesta arquitectura situam-se fundamentalmente no gestor de recursos. Este foi apresentado para uma configuração híbrida, podendo, dado a semelhança das duas filosofias, operar por intermédio de uma atribuição das tarefas ao item ou por negociação das tarefas a executar [Pimentel, 90], [Ramos, 95].

Ambas as filosofias transaccionam ao item e por consequência implicam que o controlador de célula apresente um escalonamento dinâmico, Diferindo na forma como o fazem. O sistema por atribuição tem implícito um escalonamento ao nível oficina. Por seu turno, o sistema por negociação distribui o escalonamento pelas células.

A adaptação do controlador de célula ao sistema de transacção ao volume ou por atribuição e responsabilização, tratadas em §3.4.3.1.2, passa pela modificação do gestor de recursos, ou pela simples substituição deste na gestão do controlador de célula. Estes dois sistemas de transacção de tarefas não serão especificados neste trabalho.

5.2.2 Análise da Informação

Na secção anterior foi referida a estrutura funcional do gestor de recursos. Este bloco desempenha o papel de núcleo do gestor, sendo responsável pelo planeamento das acções do controlador de célula. Esta função naturalmente exige um conjunto elevado de informação. De seguida efectua-se uma análise da informação básica requerida no processo de decisão do gestor e mais concretamente do módulo gestor de recursos.

5.2.2.1 Decomposição da Tarefa

Uma tarefa é constituída por um número variável de operações eventualmente singular. O conhecimento da sua constituição é importante, pela necessidade de saber que equipamentos a podem executar.

A relação entre a tarefa, a sua constituição e o tipo de equipamentos que a podem efectuar, pode ser observado na figura 5.2

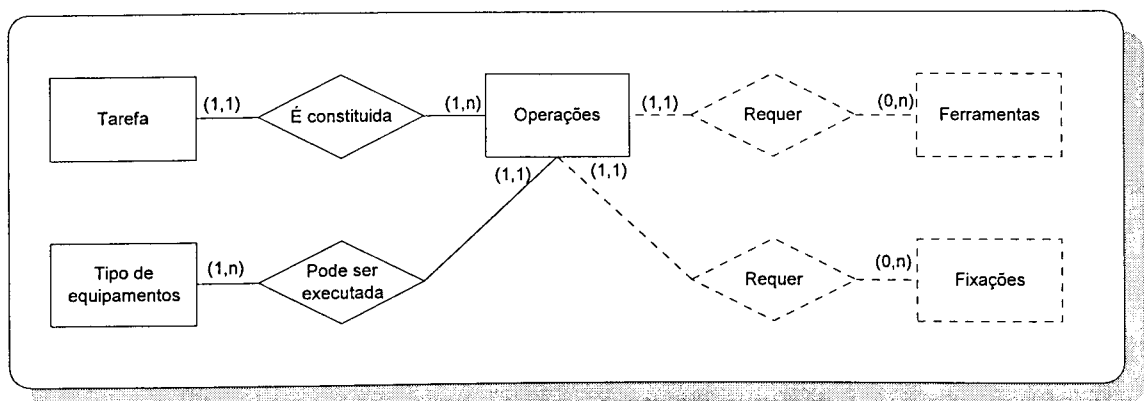


figura 5.2 - A tarefa, sua constituição e seus requisitos.

A informação apresentada é essencial para um conjunto de decisões que têm de ser tomadas ao nível do gestor, mais concretamente, nas funções de análise da capacidade e escalonamento. Estas funções necessitam conhecer as operações que constituem a tarefa e os equipamentos

candidatos à sua execução, de forma a verificarem a capacidade de as efectuar e distribuir as tarefas pelos equipamentos existentes na célula.

O acesso a esta informação pode ser efectuado genericamente de duas formas:

- Adquirindo o código da tarefa e a partir dessa informação aceder à base de dados do processo, obtendo a informação relativa às operações e equipamentos;
- A informação é transmitida na mensagem de pedido de negociação ou atribuição de tarefa.

O acesso à base de dados do processo pode ter um impacto considerável conforme o tipo de transacção efectuada entre o nível oficina e célula.

A análise dos dois cenários suscita as seguintes considerações:

- Um sistema baseado em negociação implica, uma componente elevada de autonomia e consequentemente a necessidade de efectuar a maior parte das decisões localmente.

O pedido de avaliação de exequibilidade é enviado às várias células. Estas terão necessidade de conhecer como são constituídas e realizadas as tarefas e consequentemente é requerido o acesso à base de dados do processo. O mesmo tipo de interrogação à base de dados, é efectuado pelas diversas células contactadas para formular uma licitação, processando-se o acesso à mesma com um coeficiente de simultaneidade elevado, gerando-se assim uma situação de congestionamento;

- Num sistema de atribuição de tarefas às diversas células, o número de acesso à base de dados é menor. Contudo tem que ser acedido, para interpretar as diversas atribuições.

A transmissão da informação contida na mensagem, embora aumente a dimensão desta, é a melhor alternativa neste caso.

O sistema ao nível superior acede menos vezes à base de dados do processo para efectuar a mesma decisão que o conjunto das células. O próprio sistema necessita de conhecer o processo, nomeadamente no caso da transacção por atribuição, no qual utiliza parte dessa informação para proceder às suas próprias decisões. No conjunto, estes factores propiciam que o sistema deva enviar o conjunto de informação necessária às células, reduzindo desta forma o acesso à base de dados do processo para efectuar a aprendizagem do mesmo.

A informação enviada para identificar a tarefa, sua constituição e equipamentos candidatos à sua realização, pode assumir a seguinte constituição:

- Código da tarefa;
- Número de itens a produzir;
- Lista de operações que constituem a tarefa;
- Tipo de equipamento que pode efectuar cada operação;
- Requisitos de qualidade (exemplo: precisão com que é efectuada a operação) que restringem o tipo de equipamento candidato a efectuar a operação.

A classificação dos equipamentos em tipos e seus requisitos, codifica a informação e evita o envio de uma lista eventualmente longa com todos os equipamentos que poderiam efectuar a tarefa.

5.2.2.2 Recursos Existentes

Uma célula é constituída por um conjunto de equipamentos que estão organizados de forma a cooperarem na realização de um conjunto de operações, que resultem na produção de um item podendo este ser uma peça ou um produto semiacabado. A necessidade do conhecimento da sua constituição resulta do facto dos equipamentos fazerem parte dos recursos necessários à realização das diversas operações. A sua explicitação resulta também da estrutura do controlador de célula. A constituição deste, em controladores autónomos associados a um gestor através de um mecanismo de registo, confere-lhe uma grande capacidade de alterar a sua estrutura, simplificando assim a concepção de diferentes células. Contudo, este caso não deve ser entendido como sinal de que a constituição de uma célula varie com frequência. Geralmente esta variação está associada ao retirar de equipamentos avariados da sua estrutura ou à adição de novos equipamentos. Este mecanismo de registo confere à arquitectura apresentada boas características de modificabilidade e extensibilidade importantes num sistema de controlo. Esta característica implica a necessidade de verificar quais os equipamentos que se encontram registados no controlador de célula, ver figura 5.3.

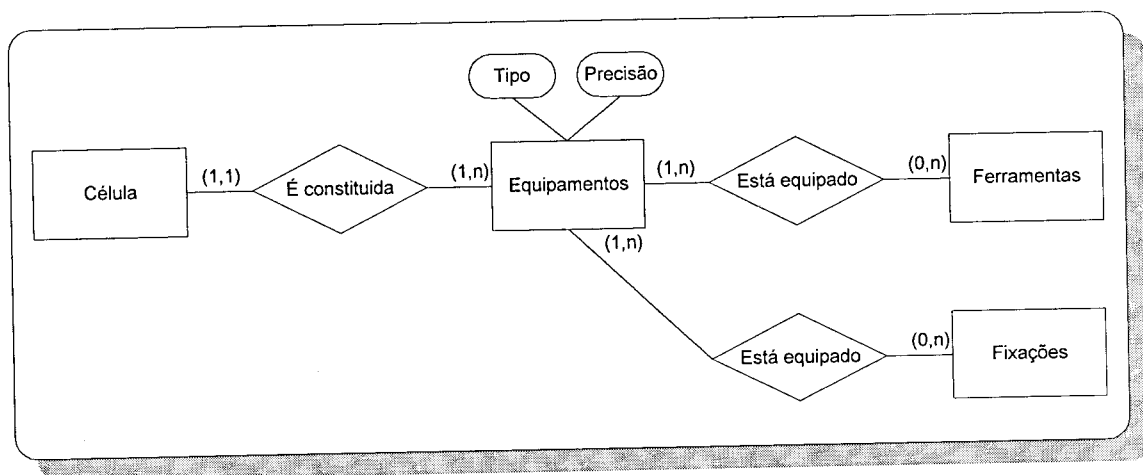


Figura 5.3 - Constituição da célula e sua capacidade.

A informação relevante dos equipamentos que constituem a célula é fornecida pelos mesmos no acto de registo, no gestor do controlador de célula.

A informação fornecida ao gestor contém dados importantes no auxílio do escalonamento e análise da capacidade nomeadamente a informação que permite identificar os equipamentos que constituem a célula e que são potenciais candidatos à realização das operações que compõem as tarefas:

- Tipo de equipamento;
- Precisão.

Apresenta também apontadores para as tabelas com informação importante, nomeadamente as ferramentas que estão no armazém dos equipamentos. Este tipo de informação tem grande interesse, particularmente por permitir escolher equipamentos que eventualmente já possuam as ferramentas necessárias à execução das operações. Este procedimento permite reduzir os tempos de *setup* das máquinas. Esta informação será de novo abordada em §5.3.2, relativa ao registo de equipamentos no gestor.

5.2.2.3 Utilização de Recursos

A importância da existência de um plano de utilização de recursos com um determinado horizonte temporal e contendo os equipamentos e operações atribuídas, prende-se com a necessidade dos diversos módulos do gestor efectuarem decisões, tendo em conta o estado de atribuição de operações e disponibilidade futura dos equipamentos.

Existem dois cenários de utilização de recursos:

- **Num plano auxiliar.** Permite descrever possíveis configurações de utilização de equipamentos, usados entre o escalonador e o módulo de análise à capacidade. Desta forma, este último pode aceitar novas tarefas, com base num cenário de ocupação de equipamentos. O procedimento descrito permite que o escalonamento seja efectuando em tempo ligeiramente diferido tentando assim otimizar a utilização dos recursos;
- **Num plano de utilização dos equipamentos e operações atribuídas.** Este plano não se trata de uma formulação de cenários, mas sim da decisão de seguir um determinado plano de acção. Neste, estão incluídos os diversos escalonamentos distribuídos aos controladores.

A definição dos diferentes planos e cenários não se baseiam só na adequação das operações aos os diversos equipamentos, tempos de *setup*, etc. Têm também em conta a informação sobre a ocupação dos equipamentos, e de paragens previstas, como por exemplo para manutenção preventiva. Ver figura 5.4.

Esta informação é indicada ao gestor pelos controladores quando detectam essa necessidade. A recolha desta informação é efectuada pelo módulo monitor do gestor, que actualiza a informação existente relativa ao equipamento em causa.

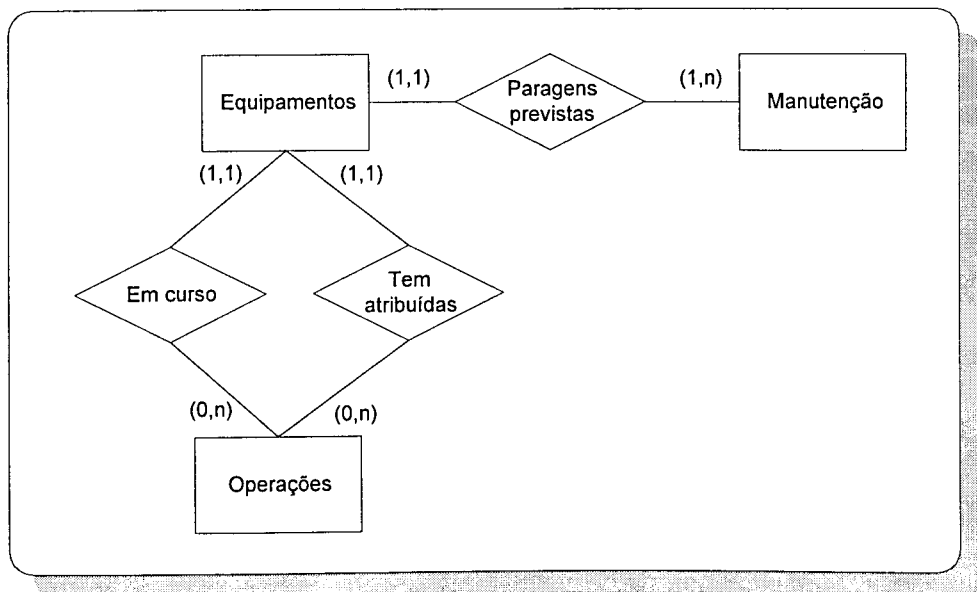


Figura 5.4 - Ocupação dos recursos da célula.

5.2.2.4 Sequência das Operações

O escalonador e o módulo de análise da capacidade requerem o conhecimento da dinâmica do processo de fabrico. Desta forma, é possível afectar as tarefas aos equipamentos e formular uma apreciação à capacidade de realização das tarefas na célula.

A informação requerida para o conhecimento da dinâmica do processo está relacionada com a sequência das operações e o tempo em que devem ser efectuadas. Nesta secção faz-se uma análise da constituição das tarefas e sequência das suas operações. Ver figura 5.5.

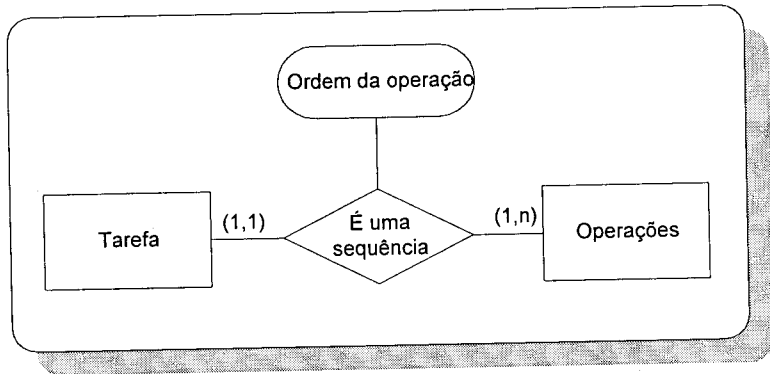


Figura 5.5 - Sequência das operações na execução de uma tarefa.

A ordem de execução de uma determinada operação, em toda a sequência de operações que constitui a tarefa, é do domínio de conhecimento do planeamento do processo. Em §5.2.1.1, foram referidas as vantagens evidenciadas pelo envio da informação, por parte do nível oficina, relativa à constituição da tarefa e do tipo de equipamento candidato à sua execução. Assim, a sequência das operações pode ser codificada precisamente nos dados transmitidos, isto é, na mensagem de contratação da tarefa. O nível oficina interroga a base de dados do processo sobre a ordem das operações. A sua transmissão ordenada, bem como das exigências de qualidade (precisão), possibilita ao gestor obter o conhecimento da sequência das referidas operações.

5.2.2.5 Tempo Operação/Tempo Limite de Conclusão

Um factor importante na distribuição temporal das diversas operações que compõem a tarefa, é o tempo limite para a sua conclusão (*deadline*), aliado aos tempos de execução das diversas operações, como mostra a figura 5.6.

Com o conhecimento da *deadline* para a execução da tarefa e o tempo de consumação de cada operação, é possível determinar os horizontes temporais onde os diversos equipamentos são requeridos. Contudo, o tempo de execução pode eventualmente depender dos equipamentos que irão efectuar a operação. Assim, é necessário conhecer os tempos efectuados pelos diversos equipamentos.

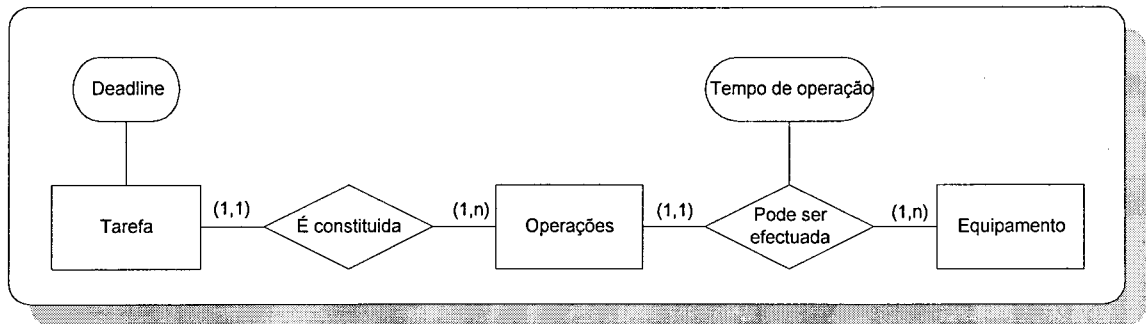


Figura 5.6 - Restrições temporais do processo.

A informação do tempo de execução de uma determinada operação encontra-se geralmente gravado num registo histórico do equipamento. A consulta deste registo permite aos módulos, escalonador e análise de capacidade, desempenharem as suas tarefas.

Existe contudo um eventual cenário onde o tempo de operação não é conhecido, como no caso de existirem operações que não são efectuadas na célula e pertencem à tarefa que lhe foi atribuída. Este cenário provoca a impossibilidade do gestor determinar os tempos de início de cada operação e, consequentemente, não pode escalonar ou aceitar qualquer operação da tarefa.

A resolução deste problema passa pela definição de tarefas mais restritas, ou seja, o nível oficina antes de decidir atribuir ou negociar uma tarefa deve subdividir em tarefas situáveis à organização da oficina.

Concluindo, o gestor requer conhecimento de informação relativa:

- À *deadline* da execução da tarefa;
- Aos tempos das diversas operações, sendo este dependente do equipamento usado;
- À sequência das operações para efectuar a tarefa.

A reunião desta informação permite efectuar o cálculo dos horizontes temporais para a execução das operações, e analisar a disponibilidade dos equipamentos. O cálculo dos intervalos de operação são efectuados a partir da *deadline* para o início da tarefa, ou seja, do término da última operação até ao início da primeira operação da tarefa.

5.3 O Registo

A arquitectura de controlador de célula apresentada, caracteriza-se de certa forma pela ligação fraca entre controladores e gestor. Esta característica permite que eventuais evoluções do controlador de célula não estejam presas a factores relacionados com a sua estrutura. A vantagem que advém deste facto, é o desenvolvimento independente dos diversos controladores e da forma como o gestor actua com o nível oficina. Os controladores não são alterados pelo facto do nível oficina usar diferentes estratégias de transacção das tarefas, tais como por atribuição e

responsabilização e ao volume, uma vez que estes simplesmente se registam a um gestor que é responsável pela boa utilização dos recursos.

5.3.1 Análise Funcional

O registo é responsável pela gestão da constituição da célula. Este pode receber dois tipos de pedido (figura 5.7) :

- **Associação;**
- **Desvinculação,**

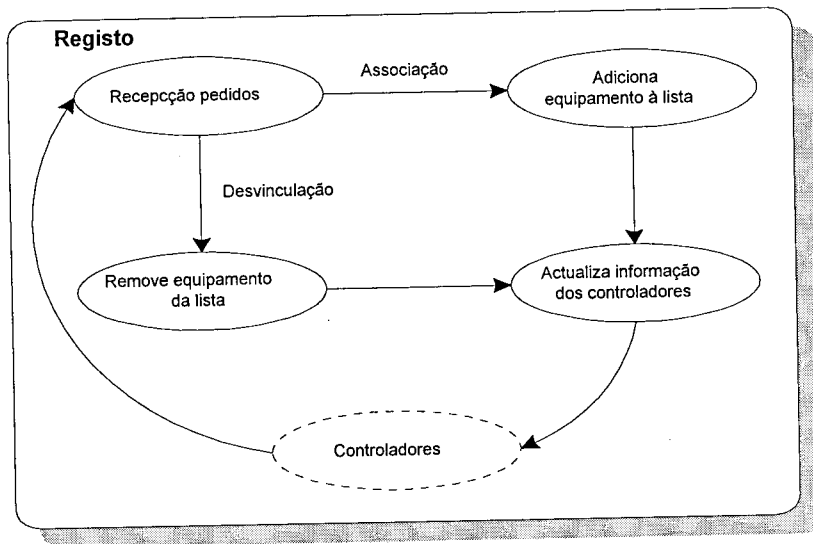


Figura 5.7 - Mecanismo de constituição da célula.

Nos pedidos de associação os equipamentos controlados são registados numa lista onde se encontram os equipamentos pertencentes à célula. Esta lista é importante para o gestor, não só por indicar dinamicamente os equipamentos que constituem a célula, mas também porque o registo tem associada informação fundamental ao gestor de recursos, sobre os equipamentos associados. É igualmente importante para os controladores, porque parte da informação é transferida para os controladores que a usam no processo transferência entre equipamentos (sistema de transporte).

Os pedidos de desvinculação podem ocorrer de forma:

- **Directa.** O controlador do equipamento indica ao registo que vai sair da associação;
- **Indirecta.** O controlador do equipamento em causa não conseguiu informar a sua saída da associação. Assim, esta será indicada por outro controlador. Este comportamento deve-se ao facto de, nesta arquitectura os controladores dos equipamentos se vigiarem entre si, no desenrolar do processo. Esta forma de actuar será descrita em §6.2.1.3.1.

O registo é também responsável pela difusão para os equipamentos que se encontram associados ao gestor, de informação relativa às entidades exteriores à célula, como por exemplo o sistema de armazéns de materiais e ferramentas. Esta informação é importante pois permite aos controladores aceder ao exterior da célula, satisfazendo necessidade de materiais, ferramentas, etc.

5.3.2 Análise da Informação

O acto de registo de um controlador no gestor é acompanhado pelo preenchimento de uma tabela com os dados mais relevantes para o gestor, que caracterizam o equipamento, como exemplificado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Informação de Registo.

Identificação	Nome do equipamento
Tipo	Identificação genérica
Características mecânicas	Precisão
Alcance	Ident. Equipamentos servidos
Ferramentas	
Outros apontadores	

Armazém	Ferramentas
Posição	Tipo
1	Fresa_A
2	Vazio
3	Broca
4	Fresa_B

A informação apresentada na tabela corresponde aos dois tipos de equipamentos que constituem a célula:

- **Equipamentos transformadores**, ou seja equipamentos cuja operação produza qualquer alteração das características do material que foi alvo da mesma;
- **Equipamentos transportadores**, que efectuem transporte de materiais no interior da célula, mais concretamente robots, mesas de transferência, transportadores, etc.

5.3.2.1 Equipamentos Transformadores

Os equipamentos transformadores são alvo de escalonamento, por parte do gestor de recursos. Este necessita de informação para uso no processo de escalonamento e análise de capacidade, resultando daí interesse em gravar no registo, os diversos parâmetros que caracterizam o equipamento e o seu estado, como sejam:

- **Nome**, que identifica univocamente o equipamento;
- **Tipo de equipamento**;
- **Características mecânicas do equipamento**, (exemplo: capacidade de efectuarem operações com uma determinada precisão);
- **Apontador para tabela de ferramentas**, que possui no seu armazém.

5.3.2.2 Equipamentos Transportadores

Os equipamentos transportadores não são alvo de escalonamento.

Como foi referido em §5.2.1.5.1.1, o motivo pelo qual o sistema de transporte não é alvo de escalonamento, deve-se essencialmente ao facto do movimento dos materiais no interior da célula ser um processo rápido relativamente ao processo de transformação, sendo o escalonamento efectuado em tempo real pelo controlador do sistema de transporte.

A informação registada pelo sistema de transporte é a seguinte:

- **Nome**, que identifica univocamente o equipamento;
- **Tipo**, (transportador);
- **Alcance**: identificação dos equipamentos a quem presta serviço. No caso de um robot, identificação dos equipamentos a que consegue aceder.

Esta informação é essencial aos controladores dos equipamentos, devendo ser transferida do gestor aos controladores registados.

A necessidade desta informação prende-se com a forma de funcionamento autónomo dos controladores. Concretizando, quando um equipamento **A** acaba de efectuar uma determinada operação, e a sequência do processo indica que a próxima operação se efectua no equipamento **B**, a transferência do item pode ser controlada de forma diversa, nos seguintes casos:

- Num sistema onde exista um nível supervisor, que coordena as operações na célula. Este possuiu explicitamente no seu código que o equipamento de transporte deve recolher o item trabalhado da máquina **A** e transferi-lo para **B**.

- Na arquitectura apresentada, esta operação não está explícita no código do controlador. Este verifica que a operação está concluída e através da consulta do plano de acção enviado pelo gestor, sabe que o equipamento **B** deve efectuar a próxima operação. Contacta esse equipamento de forma a certificar a sua disponibilidade. Em seguida, analisa a informação enviada pelo sistema de registo do gestor. Esta informação contém dados relativos ao sistema de transporte entre **A** e **B**. Finalmente, contacta esse equipamento para proceder ao transporte.

A forma de funcionamento utilizada nesta arquitectura tem consideráveis vantagens em termos de extensibilidade da arquitectura de controlo. Considere-se o seguinte cenário.

Devido aos bons resultados obtidos pela empresa após a instalação do sistema, esta decide aumentar a sua capacidade de produção, acrescentando mais uma máquina à célula. Esta decisão tem várias implicações que são toleradas de forma variável pelas arquitecturas.

Analise-se as consequências, somente em relação ao problema de transporte entre equipamentos:

- O sistema que efectua a coordenação das operações ao nível superior, necessita que as várias possibilidades de interacção entre os diversos equipamentos seja explicitado no código de controlo;
- A arquitectura apresentada exige simplesmente a adição do nome que identifica univocamente o novo equipamento na tabela do transportador. Esta tabela inclui os nomes dos equipamentos que o equipamento transporte serve. Concluindo, não há necessidade de alterar ou acrescentar código no controlador de célula.

5.4 O Monitor

As tomadas de decisão ao nível do gestor requerem informação do processo de fabrico. O seu rigor depende da consistência da informação que dispõe para efectuar a decisão. A necessidade de manter consistente a informação relativa à célula, exige que o gestor recolha e analise a informação que provem dos controladores que a constitui.

5.4.1 Análise Funcional

O monitor é responsável pela aquisição da informação relativa ao processo no interior da célula. Esta informação é analisada e enviada aos módulos onde ela tenha significado: gestor de recursos, registo, nível oficina, etc. A existência de informação da célula no monitor torna possível a implementação algumas análises e estatísticas sobre a mesma, entre quais a observação do WIP (Work In Progress).

5.4.2 Análise da Informação

O volume de informação entre os controladores e a célula não é muito elevado, devido ao grau de autonomia dos controladores. Estes em condições normais conduzem o processo entre si, transferindo informação estritamente necessária ao gestor para manter consistente a sua imagem do estado da célula. Entre essa informação encontra-se:

- Pedidos de associação com informação do equipamento;
- Pedidos de desvinculação;
- Informação de impossibilidade de cumprir escalonamento;
- Início e/ou conclusão de tarefas.

5.5 Interfaces

A interacção do gestor do controlador de célula com os diversos intervenientes, implica a necessidade de estabelecimento de pontos de contacto comum. Nesta secção será referida um conjunto de orientações básicas, não necessariamente completa, para a interacção entre gestor e os diversos níveis com que contacta. Estas resultam num conjunto básico de mensagens trocadas entre os intervenientes. O cumprimento de requisitos, como portabilidade, sugere que estas mensagens sejam estabelecidas através de comunicações entre processos remotos.

5.5.1 Com o Nível Oficina

A interacção entre o nível oficina e célula, exige uma forma de diálogo que seja perceptível a ambos os níveis. Torna-se evidente a necessidade de um protocolo composto por um conjunto básico de mensagens trocadas entre ambos. Estas mensagens devem conter a informação essencial ao seu funcionamento e nomeadamente ao gestor, que é o representante da célula.

Durante o presente capítulo efectuou-se uma análise funcional do gestor bem como da informação básica requerida por este. Com base nessa análise será especificado um conjunto de mensagens para a transacção das tarefas entre os dois níveis. Estas baseiam-se no conhecido Contract Net Protocol [Smith, 80], quer na sua vertente de negociação (*bid*), quer no contrato directo (*directed contracts*) usado no processo de atribuição de tarefas.

5.5.1.1 Anúncio de Tarefa

A mensagem *anúncio de tarefa* é utilizada pelo nível oficina para apresentar uma determinada tarefa para licitação, visando por este processo escalonar a mesma pelos recursos que participam na licitação, no caso, as células de fabrico. Ver tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Representação da mensagem de anúncio de tarefa.

ANÚNCIO DE TAREFA	
Destinatário	Gestor da célula
Remetente	Nível oficina
Tipo	<i>Task Announcement</i>
Prazo de licitação	Data limite para produzir uma oferta
Identificação da tarefa	Código que identifica a tarefa
Quantidade	Número de itens a produzir
Composição	Lista de operações que compõem a tarefa
Elegibilidade	• Tipo de equipamento requerido • Requisitos
Deadline	Data limite de conclusão da tarefa

5.5.1.2 Licitação

A mensagem de *licitação* é utilizada pelas células que possuem capacidade de efectuar a tarefa anunciada e, propõem um valor para a sua realização ao nível oficina. Este valor pode ser constituído por um conjunto de intervalos de tempo em que a tarefa pode ser realizada. A oferta pode ainda incluir condições de realização, como por exemplo o número de itens que pode efectuar. Ver tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Representação da mensagem de licitação.

LICITAÇÃO	
Destinatário	Nível oficina
Remetente	Gestor da célula
Tipo	<i>Bid</i>
Identificação da tarefa	Código que identifica a tarefa
Oferta	Condições de realização da tarefa

5.5.1.3 Adjudicação

A célula, é notificada pelo nível oficina do resultado da licitação, através da mensagem de *adjudicação*, podendo este ser positivo ou negativo. Quando a resposta é positiva são enviado(s) o(s) intervalo(s) de tempo em que esta pode efectuar-se. Ver tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Representação da mensagem de adjudicação.

ADJUDICAÇÃO	
Destinatário	Gestor da célula
Remetente	Nível oficina
Tipo	<i>Award</i>
Identificação da tarefa	Código que identifica a tarefa
Resultado	Recusado / intervalo(s) de tempo nos quais se deve realizar a tarefa

5.5.1.4 Contracto Directo

Como foi referido em §5.2.1, a configuração do gestor prevê uma transacção de tarefas entre o nível oficina e célula, por negociação ou atribuição ao item.

A transacção por atribuição de tarefa a uma determinada célula, efectua-se através da mensagem *contracto directo*. Esta é semelhante ao anúncio da tarefa não havendo contudo lugar a negociação. Ver tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Representação da mensagem de contracto directo.

CONTRACTO DIRECTO	
Destinatário	Gestor da célula
Remetente	Nível oficina
Tipo	<i>Direct Contract</i>
Identificação da tarefa	Código que identifica a tarefa
Quantidade	Número de itens a produzir
Composição	Lista de operações que compõem a tarefa
Elegibilidade	• Tipo de equipamento requerido • Requisitos
Deadline	Data limite de conclusão da tarefa

5.5.1.5 Confirmação

A aceitação de uma determinada tarefa pelo gestor da célula é efectuada por uma mensagem de *confirmação*, podendo esta ser positiva ou negativa. No caso da célula não ter possibilidade de cumprir a tarefa em causa, formula uma confirmação negativa. Neste caso indica a razão da recusa ao nível oficina. Ver tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Representação da mensagem de confirmação.

CONFIRMAÇÃO	
Destinatário	Nível oficina
Remetente	Gestor da célula
Tipo	<i>Acknowledgment</i>
Identificação da tarefa	Código que identifica a tarefa
Resultado	• Aceitação • Recusa (justificação)

5.5.1.6 Conclusão da Tarefa

O nível oficina é notificado da conclusão de uma determinada tarefa, através da mensagem *conclusão de tarefa*. Ver tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Representação da mensagem de conclusão de tarefa.

CONCLUSÃO DE TAREFA	
Destinatário	Nível oficina
Remetente	Gestor da célula
Tipo	<i>Termination</i>
Identificação da tarefa	Código que identifica a tarefa

5.5.2 Com os Controladores

A interacção entre o gestor e os controladores que lhe estão associados, é efectuado através de conjunto básico de mensagens. Estas são utilizadas para a realização das diversas funções que são do interesse destes intervenientes. Assim estas desempenham os serviços de atribuição de tarefas, gestão da associação através do mecanismo de registo e transmissão do estado do processo ao gestor. As diversas mensagens serão analisadas de seguida.

5.5.2.1 Atribuição de Operações

O gestor, através do seu módulo de escalonamento formula planos individuais orientados à operação para os diversos equipamentos. Estes são enviados através de mensagens de *atribuição de operação*. Esta contem a informação relevante para o controlador se situar na cadeia de processo e executar a operação que lhe foi atribuída. Ver tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Representação da mensagem de atribuição de operação.

ATRIBUIÇÃO DE OPERAÇÃO	
Destinatário	Controlador
Tipo	Atribuição de operação
Identificação da operação	Código da operação
Quantidade	Número de itens a efectuar
Sequência do processo	• Equipamento antecessor/código de operação • Equipamento sucessor/código de operação
Tempo de operação	Tempo de execução de um item
Deadline	Data limite de conclusão da tarefa

5.5.2.2 Registo

A classe *registo* engloba um conjunto de mensagens que participam no mecanismo de constituição do controlador de célula e gestão da sua estrutura.

5.5.2.2.1 Associação

A mensagem *associação* é utilizada pelos diversos controladores como forma de se associarem ao gestor do controlador de célula. Ver tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Representação da mensagem de associação.

ASSOCIAÇÃO	
Destinatário	Gestor
Tipo	Associação
Informação de registo	Informação relevante do equipamento

A informação de registo contém dados de relevo relativos ao equipamento. Esta permite ao gestor administrar a associação dos controladores que formam o controlador de célula. A informação contida no registo e o seu tipo foi referida em §5.3.2.

5.5.2.2.2 Desvinculação

A função da mensagem de *desvinculação*, é a de produzir uma indicação ao gestor que o equipamento que a requer irá abandonar a estrutura do controlador de célula. A mensagem de *desvinculação* pode ser usada em diferentes cenários: avaria do equipamento, manutenção, etc. Ver tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Representação da mensagem de desvinculação.

DESVINCULAÇÃO	
Destinatário	Gestor
Tipo	Desvinculação
Requerente	Identificação do equipamento

5.5.2.2.3 Informação de Associação

A mensagem *informação de associação*, é usada pelo gestor para informar os controladores dos equipamentos transformadores, de quais as entidades que prestam serviços aos equipamentos da célula, como pode ser observado na tabela 5.11. Esta informação pode estar relacionada com o sistema de transporte, indicando o contacto e informação das entidades que pode servir. Pode ainda conter informação relativa a entidades externas à célula que prestem serviços à mesma, por exemplo armazéns ferramentas.

Tabela 5.11 - Representação da mensagem de informação de associação.

INFORMAÇÃO DE ASSOCIAÇÃO	
Destinatário	Controladores
Tipo	Informação de associação
Associado	Identificação do equipamento ou entidade que presta serviço à célula.

5.5.2.3 Informação de Processo

A informação do processo é transferida por mensagens que permitem ao gestor manter uma imagem do processo. Estas permitem ainda acompanhar a execução das operações executadas pelos equipamentos que constituem a célula e actualizar os mapas de ocupação dos mesmos.

5.5.2.3.1 Início de Operação

A mensagem de *início de operação* é utilizada pelo controlador para indicar ao gestor o início de uma operação. Ver tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Representação da mensagem de início de operação.

INÍCIO DE OPERAÇÃO	
Destinatário	Gestor
Tipo	Início de operação
Identificação da operação	Código da operação

5.5.2.3.2 Conclusão de Operação

A mensagem de *conclusão de operação* é utilizada pelo controlador para indicar ao gestor o término de uma operação. Ver tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Representação da mensagem de conclusão de operação.

CONCLUSÃO DE OPERAÇÃO	
Destinatário	Gestor
Tipo	Conclusão de operação
Identificação da operação	Código da operação

5.5.2.4 Excepções

A ocorrência de situações de excepção, que não permitam o desenrolar normal do processo, devem ser relatados ao gestor. Essa indicação é efectuada através de uma mensagem de excepção. Ver tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Representação da mensagem de excepção.

EXCEPÇÃO	
Destinatário	Gestor
Tipo	Excepção
Relatório	Discriminação da condição de excepção

5.5.3 Com o Sistema Supervisão Homem/Máquina

A necessidade de observar ou alterar o funcionamento do gestor do controlador de célula, requer que este permita a interacção com o seu exterior. Esta interacção efectua-se com sistemas de interfaces HM, possibilitando que o funcionamento do gestor seja supervisionado e podendo mesmo sofrer intervenção ao nível dos planos traçados para os equipamentos. Esta intervenção pode resultar na modificação directa ou pela alteração dos critérios (regras), que estão na base da

geração dos planos. Desta forma, é necessário estabelecer um mecanismo de troca de informação, baseado em mensagens entre os dois intervenientes.

5.6 Conclusão

Como foi referido o gestor é o responsável pela administração da estrutura da célula. Tem como função gerir uma associação de controladores que representam os diversos equipamentos da célula, e transaccionar a sua capacidade com o nível oficina. Deve ainda produzir planos (escalonamentos) das diversas operações para os controladores.

Em termos funcionais e devido ao seu posicionamento na estrutura de controlo, o gestor foi especificado para estabelecer uma ligação fraca com as entidades com que interacciona. Assim, ao nível da interacção com os controladores, o gestor usa um mecanismo de registo que lhe permite estabelecer uma associação de controladores, formando consigo o controlador de célula. Da utilização deste mecanismo resulta informação importante para a gestão de recursos que lhe estão associados. Esta forma de constituir o controlador de célula revela-se como um factor importante na extensibilidade do sistema de controlo.

Na interacção com o nível oficina o gestor funciona de certa forma como um adaptador para o interior do controlador de célula, a sua especificação foi de forma a permitir que este torne os controladores insensíveis aos diversos tipos de transacção com o referido nível. Este factor realça as características de modificabilidade da arquitectura de controlo. A transacção das tarefas a executar na célula é efectuada no gestor através do seu módulo de gestão de recursos. Este módulo deve estar adaptado ao tipo de transacção que é efectuado com o nível oficina. Desta forma a sua modificação pode adaptar a célula para trabalhar sobre uma outra estratégia de transacção de tarefas. Este facto realça ainda a possibilidade da arquitectura apresentada neste trabalho poder utilizar gestores especializados em determinadas estratégias de transacção e funcionamento. Alargando assim o espectro de aplicações do controlador de célula. O módulo de gestão de recursos é também responsável pela realização dos planos (escalonamento) das operações para os diversos equipamentos da célula.

Neste capítulo foi também efectuada uma especificação da informação básica requerida pelo controlador de célula e em particular pelo gestor. Esta refere-se quer ao nível oficina quer dos controladores. Ao nível superior (oficina) trata de informação relativa ao processo de fabrico. Ao nível dos controladores trata da informação relativa à disponibilidade destes e sua capacidade para efectuar as diversas tarefas que são negociadas pelo gestor.

Durante a análise dos requisitos básicos em termos de informação foi verificado, no caso da configuração do gestor estudada, as vantagens da informação do processo ser enviada pelo sistema que requer a execução das tarefas. Estas vantagens prendem-se com a necessidade de

racionalizar o acesso à base de dados do processo, evitando que devido às características do processo de transacção por negociação ocorresse congestionamento no acesso à referida base de dados.

A interacção com os diversos agentes que intervêm no processo requereu a especificação de interfaces. Na comunicação com o nível oficina estabeleceu-se um protocolo básico composto por um conjunto de mensagens e baseado no conhecido Contract Net Protocol, nas suas vertentes de negociação e contrato directo. A primeira é utilizada na transacção das tarefas pelo método da negociação, o segundo no processo de atribuição das tarefas ao item por parte do nível oficina.

Na interacção com os controladores especificou-se um conjunto básico de mensagens, para: atribuição de operações ao controladores, gestão da associação e acompanhamento do processo por parte do gestor.

A utilização destes conjuntos de mensagens entre os diversos níveis do sistema de controlo, vem realçar mais uma vez a ligação fraca, entre os diversos intervenientes do processo. Esta característica é desejável pois pressupõe a concepção de módulos bem definidos entre os quais é trocada a informação estritamente necessária ao seu funcionamento. Permite também realçar as características de modificabilidade e extensibilidade importantes em arquitecturas de controlo de sistemas de capital intensivo, como é o caso tratado.

Capítulo 6

Especificação do Controlador

6.1 Introdução

O controlador é a entidade que coordena as operações na estrutura celular do equipamento a ele associado. A sua função prende-se com a análise dos planos traçados pelo gestor da célula bem como transformá-los em acções básicas ao nível do controlador local do equipamento fabril.

O controlador, enquanto entidade especializada responsável pelo seu equipamento, participa numa associação com outros controladores formando um controlador de célula. Esta associação tem como objectivo produzir algo de forma ordenada e eficaz, a qual apela à competência dos diversos equipamentos.

Os objectivos da célula são alcançados através da concepção de um plano de acção traçado pelo gestor e posterior cooperação dos controladores na sua implementação. No processo de implementação, o controlador divide o problema de controlo pelos diversos módulos que compõem a sua estrutura, adaptando-se desta forma aos diferentes níveis de exigência do processo. Ao nível superior, encontram-se os planos do gestor suficientemente genéricos. No nível inferior, os planos apresentam a especificidade naturais da sua orientação aos equipamentos fabris. O coordenador estabelece assim a ponte entre os dois níveis, célula e equipamento.

A estrutura do controlador é constituída por: coordenador, executor, monitor e interfaces. Estes módulos foram descritos quanto ao seu funcionamento na apresentação da arquitectura, em §4.4.

6.1.1 Classes de controlador

Os equipamentos no processo de registo foram classificados em equipamentos transformadores e equipamentos transportadores em §5.3.2. Em termos de planeamento, foi referido que os equipamentos transportadores, não são considerados no processo de escalonamento das diversas operações.

Torna-se pertinente saber quais as implicações na estrutura do controlador provocadas pelo diferente tratamento do gestor, na fase de planeamento.

A estrutura do controlador dos dois tipos de equipamentos é idêntica. O diferente tratamento do nível de gestão resulta da necessidade do controlador do sistema de transporte em escalonar em tempo real os pedidos que lhe chegam dos equipamentos.

Em termos de macro estrutura os controladores dos dois tipos de equipamentos são iguais (ver figura 4.4). O equipamento de transporte na posse de um pedido, tem de o analisar e reunir os requisitos para executar a operação, que é no caso, o transporte de um determinado objecto. Desta forma, pode referir-se a existência de uma única estrutura de controlador, diferindo especificamente quanto à sua actividade no processo de fabrico. Os equipamentos transformadores possuem a possibilidade desencadear actividade, ao passo que os equipamentos transportadores limitam-se a receber pedidos de serviço de transporte.

6.2 O Coordenador

O coordenador efectua o planeamento e controlo das operações em que o equipamento que lhe está associado intervém. Efectua funções de análise dos planos traçados pelo gestor, organiza e estabelece as condições para as operações poderem desenrolar-se normalmente. Neste processo, o coordenador efectua diversas funções, que culminam com o envio de um plano de execução dos procedimentos necessários para a consumação da tarefa, ao módulo executor, como se pode ver na figura 6.1.

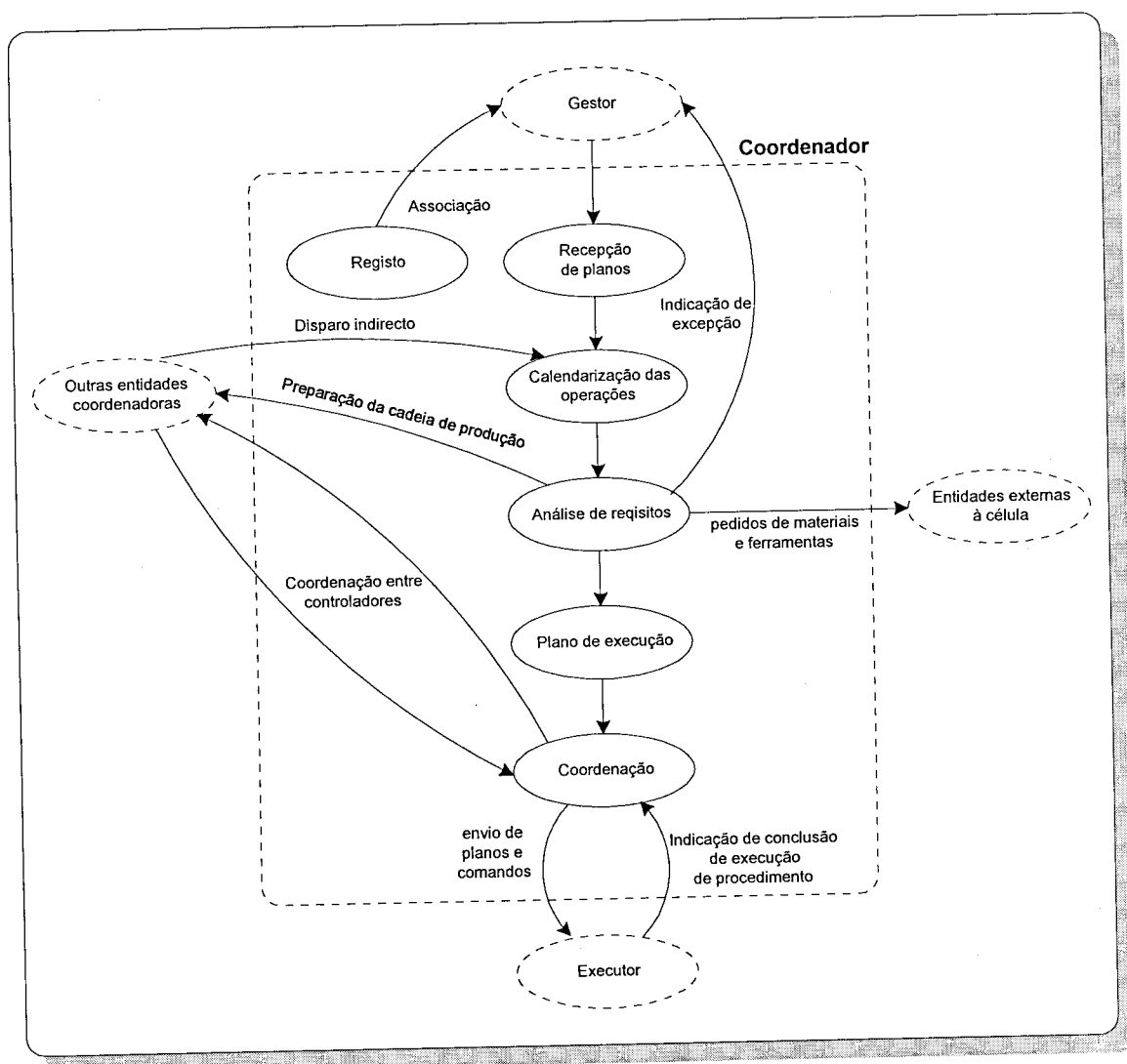


Figura 6.1 - Estrutura do módulo coordenador.

6.2.1 Análise Funcional

6.2.1.1 Registo

O arranque do controlador desencadeia um mecanismo de registo no gestor do controlador de célula. Este registo permite ao gestor reconhecer o equipamento que controla e desta forma afectá-los às operações que entender. Durante o processo de registo, é transferida informação relativa ao equipamento, importante para o desempenho do gestor, como foi referido em §5.3.2.

Após o registo, o coordenador permanecerá pronto a receber pedidos de execução de operações por parte do gestor. Estes tomam a forma de um plano como foi descrito em §5.2.1.5.1.2.

6.2.1.2 Calendarização das Operações

A recepção dos planos enviados pelo gestor, necessitam de ser organizados no coordenador. Estes são calendarizados de forma a que se proceda ao disparo do início da sua preparação para a execução. O disparo do início da preparação pode ser efectuado de duas formas:

- **Indirecta.** A preparação da operação é desencadeada pelo equipamento que efectua a operação que lhe precede. Nesta situação, o coordenador funciona como "receptor" dos disparos de operações. Neste caso o presente módulo analisa o calendário de operações e indica ao módulo de análise de requisitos que a operação entrou em fase de preparação. Este tipo de preparação de operação é o único que existe no controlador de um equipamento transportador. Tal facto deve-se à natureza passiva do equipamento transportador nesta arquitectura. Este, é um fornecedor de serviços de transporte aos restantes equipamentos. Desta forma deverão ser estes a contactá-lo.
- **Directa.** A preparação da operação é desencadeada por proximidade do seu tempo de início.

Esta forma de proceder ocorre quando a operação a efectuar pelo equipamento é a primeira ou a única da sequência de operações, que compõem a tarefa atribuída à célula. Neste caso o coordenador funciona como "fonte" de disparos de operações.

A preparação de uma operação pode também ser disparada directamente, mesmo que não seja a primeira ou a única da sequência. Este cenário pode ocorrer devido ao atraso ou inoperacionalidade do equipamento que o antecede na cadeia de produção. Por este facto o equipamento precedente não efectuou o disparo indirecto do equipamento que o sucede, vindo este a disparar directamente por proximidade do tempo de início da operação. Esta é uma situação de excepção que deve ser verificada pelo módulo de análise de requisitos.

6.2.1.3 Análise de Requisitos

A execução de uma operação, afecta ao equipamento, requer que determinadas condições sejam satisfeitas. Essas condições implicam uma análise dos requisitos necessários para o normal decorrer do processo.

A forma autónoma do funcionamento dos controladores, exige também que seja analisada a interacção dos equipamentos e que o estado de disponibilidade dos mesmos na participação do processo seja verificada.

A análise de requisitos é responsável por verificar e reunir condições para o estabelecimento de um plano de execução da operação, sendo desencadeada pela entrada de uma operação em período de pré-execução (ou preparação). Fundamentalmente esta executa as seguintes tarefas:

- Contacta o equipamento responsável pela execução da próxima operação, caso esta exista. Este contacto permite verificar a disponibilidade do equipamento para prosseguir o processo e, simultaneamente, permite efectuar o processo de disparo da operação em causa a realizar nesse equipamento;
- Responde ao equipamento que o contactou, indicando a disponibilidade ou a indisponibilidade para assegurar a realização do processo, no caso de a operação ter sido disparada de forma indirecta. Desta forma os diversos controladores lançam as operações na fase de preparação e certificam-se da capacidade do sistema efectuar o processo correctamente;
- Informa o sistema de transporte que a operação entrou em fase de preparação. Esta indicação serve para que o controlador do transportador, analise a operação indicada e ele próprio inicie a fase de preparação da operação de transporte em causa. Esta forma de funcionamento prende-se com o facto de não existir escalonamento das tarefas do sistema de transporte, no interior da célula da arquitectura apresentada. Assim, esta informação actua como um pedido, que tem de ser escalonado no momento;
- Verifica quais os programas necessários para execução da operação, como por exemplo os programas NC, programas de teste, parâmetros de configuração, etc;
- Analisa a necessidade de requisitar ferramentas, fixações ou material. A requisição deste último realiza-se no caso do processo se iniciar no equipamento.

6.2.1.3.1 Perturbações no Processo

A tentativa de contacto entre os controladores dos equipamentos, no intuito de estabelecer uma cadeia de produção, pode falhar. Esta perturbação do processo pode resultar da indisponibilidade de um dos controladores intervenientes, que deste modo impede o decorrer normal do processo. O controlador que tentou estabelecer o contacto informa o gestor que o equipamento em causa não está acessível. Em seguida o gestor verifica essa impossibilidade e retira-o do registo. O controlador não inicia a operação se o processo não poder ser continuado.

A recuperação deste estado passa pelo reescalonamento das operações pelos equipamentos disponíveis, efectuado pelo gestor. Em §4.4.2.1.1.1, foi referida a eventualidade de ser aplicada uma estratégia alternativa. Esta passa pelo diálogo entre os controladores dos equipamentos da célula e consequente capacidade de alterar a calendarização das tarefas. Contudo, a aplicabilidade desta estratégia nem sempre é viável ou justificável. A dimensão e a redundância

de operações na célula, podem inviabilizar tal estratégia. Por exemplo, a avaria de uma máquina de uma célula com três equipamentos, reduzirá fortemente a sua capacidade. Neste caso o estabelecimento de uma negociação entre controladores seria injustificável, pelas seguintes razões:

- O escalonamento das operações no gestor, poderá não ter uma dimensão que o justifique;
- Eventualmente, o equipamento que resta na célula não tem capacidade para efectuar essa operação. Neste caso pode dizer-se que não existe redundância das operações.

A possibilidade de recuperação por diálogo entre controladores, dado a sua especificidade, não vai ser alvo de análise neste trabalho, embora fosse possível de ser aplicada, caso a dimensão e redundância de operações ao nível da célula o justificasse.

6.2.1.4 Plano de Execução

O coordenador é o módulo do controlador que trabalha no nível superior do processo de fabrico. Este trabalha com planos genéricos traçados pelo gestor, que requerem uma aprendizagem do processo e coordenação dos equipamentos escalados para a sua execução. O módulo de análise de requisitos recolhe a informação relativa ao processo e contacta os restantes intervenientes, reunindo as condições necessárias para a formulação de um plano para o nível inferior. Este nível caracteriza-se por formar a interface com o domínio dos equipamentos. Desta forma, o plano deve apresentar informação mais específica.

O plano traçado para o nível do executor está organizado em procedimentos necessários à execução de uma determinada operação atribuída pelo gestor ao equipamento. Este inclui:

- Informação de *setup*;
- Procedimento de carga do equipamento;
- Programas de transformação NC;
- Eventuais programas de teste quando os equipamentos o permitam;
- Procedimento de descarga do equipamento.

Os planos de acção são o culminar do processo de preparação das diversas operações. Estas são disparadas iniciando-se a sua preparação, sendo esta finalizada com um plano de execução. Os diversos planos de execução ficam então pendentes, aguardando a emissão da ordem de sua execução, como se mostra na figura 6.2. Esta ordem é da responsabilidade do módulo de coordenação, sendo emitida após ter negociado com os equipamentos intervenientes a realização da operação.

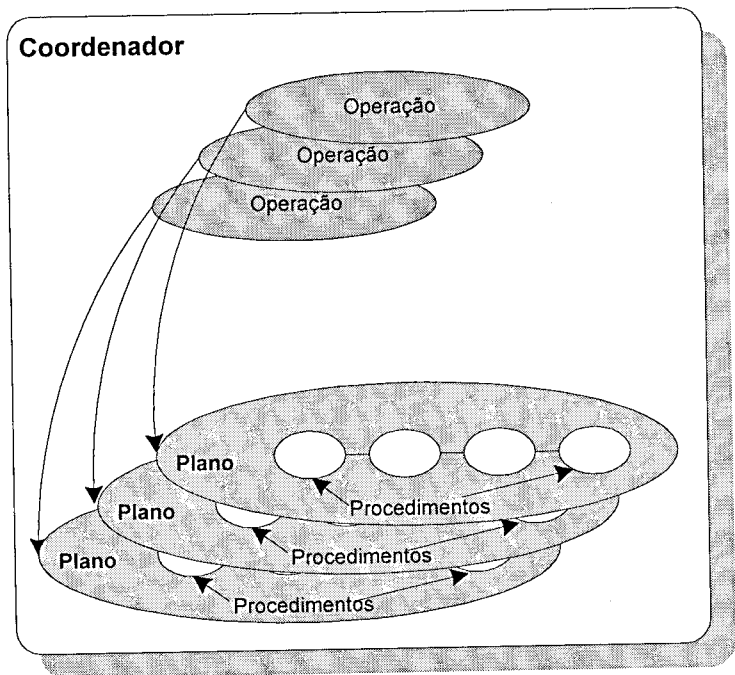


Figura 6.2 - Preparação de planos de execução.

6.2.1.5 Coordenação

A prevenção de situações de bloqueio (*deadlocks*) do sistema de produção, são de extrema importância, dada a sua gravidade. Estas implicam a paragem de partes do sistema de fabrico, com os inerentes inconvenientes [Wysk, 91], [Banaszak, 90], [Viswanadham, 90]. Uma análise desta questão foi referida em §4.4.2.1.1.2. Na presente secção especifica-se as acções tomadas para a prevenção de *deadlocks*.

A autonomia dos controladores simplifica o sistema de prevenção de *deadlocks*. Nesta arquitectura, a ordem de execução de uma operação só é emitida se todas as condições para o desenrolar normal do processo estiverem reunidas.

O envio da ordem de execução exige o conhecimento do tipo de disponibilidade do equipamento, ou seja, se este está livre ou ocupado. A execução da operação só é ordenada se o equipamento que a irá efectuar tiver disponibilidade, isto é se o equipamento estiver livre ou se houver espaço no seu buffer.

A suspensão da ordem de produção de um determinado item, até estarem garantidas as condições para o prosseguimento do processo, funciona como um mecanismo de prevenção de *deadlocks*. Desta forma, nenhuma tarefa será iniciada pelo equipamento se não estiver reservado um local ou equipamento, para onde o produto da operação possa ser expedido, após a sua conclusão.

6.2.1.5.1 Informação de Estado de Equipamento

O módulo de coordenação é também responsável por explicitar o tipo de disponibilidade para efectuar a tarefa solicitada por outro equipamento. Concretizando, quando no início da preparação de uma operação se contacta um equipamento para verificar a sua disponibilidade, a resolução da informação que se pretende obter não é elevada, ou seja, só é necessário saber se o equipamento poderá prosseguir o processo independentemente do seu estado actual, ocupado ou livre. Esta informação é suficiente para o módulo de análise de requisitos prosseguir a preparação do início de operação. Contudo, é necessário que o estado do equipamento seja fornecido correctamente ao controlador interlocutor de modo a que este possa lançar a sua operação. Esta informação é fornecida pelo módulo de coordenação com base na informação dos estado do equipamento, proveniente do módulo monitor.

6.2.1.5.2 Procedimento de Transferência de Operação

O início da realização de uma operação e consequente envio do plano de execução ao módulo executor, está dependente da autorização do módulo de coordenação. Este só emite a autorização para o início da operação, com a consequente carga do equipamento, quando estiverem reunidas as condições ao desenrolar normal das operações de transferência.

A operação de transferência realiza-se após uma negociação ao nível dos coordenadores dos controladores dos equipamentos intervenientes no processo. Esta negociação é mostrada na figura 6.14.

A transferência pode ser efectuada directamente para o equipamento, ou para um buffer afecto ao mesmo. O processo de negociação de transferência é posteriormente delegado para o nível de execução dos equipamentos intervenientes. Esta transferência de responsabilidade deve-se às diferentes competências dos módulos do controlador. O facto do módulo executor trabalhar no nível operacional e ser necessário uma sincronização entre equipamentos transformadores e transportadores, justifica a tomada de comando da operação.

6.2.1.5.3 Início e Conclusão de Tarefas

O início e conclusão de uma operação, deve ser indicado ao gestor. Esta informação é importante para permitir ao gestor um acompanhamento da realização das tarefas na célula.

6.2.2 Análise da Informação

Na secção anterior foi referida a estrutura funcional do coordenador. Este módulo efectua a função de planeamento e controlo das operações no equipamento a ele associado. Estas funções naturalmente exigem informação. Nesta secção faz-se uma abordagem do tipo de informação necessária ao módulo coordenador.

6.2.2.1 Calendarização da Operação

O controlador recebe a indicação do trabalho a realizar pelo equipamento através de planos de acção. Os planos de acção, entre outras informações de relevo para o coordenador, possuem indicações relativas à sua data de realização, como mostra a figura 6.3. Esta informação é utilizada para calendarizar as diversas operações que o equipamento tenha de realizar. O calendário é posteriormente usado no planeamento e despacho das diversas operações.

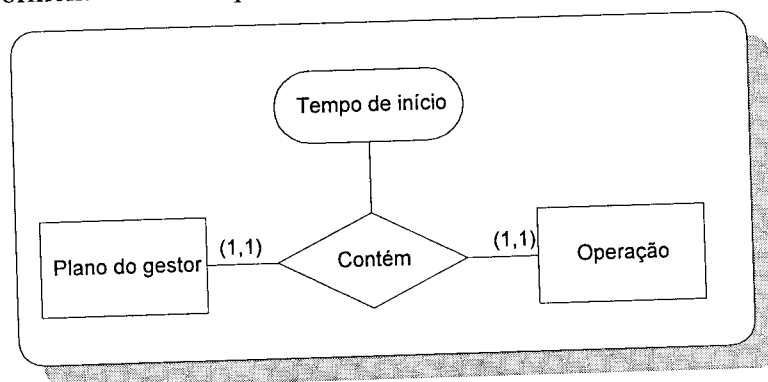


Figura 6.3 - Informação relativa à calendarização das operações.

6.2.2.2 Análise da Operação

O desencadear do processo de preparação da execução de uma determinada operação exige o conhecimento da forma como esta é realizada.

6.2.2.2.1 Sequência

O coordenador requer o conhecimento da sequência do processo de fabrico. Desta forma pode inserir-se no processo e dar continuidade ao mesmo. O controlador, devido à sua autonomia, terá de contactar os outros controladores dos equipamentos que intervêm no processo de fabrico. A informação requerida pelo coordenador para se integrar na cadeia do processo, tal como representada na figura 6.4, é essencialmente constituída por:

- Identificação do equipamento que o precede, caso a operação não seja iniciada no próprio equipamento;
- Identificação do equipamento que o sucede, caso a operação não seja terminada no próprio equipamento.

Esta informação é do domínio do conhecimento do gestor, uma vez que é este quem traça o plano de produção para a célula. A informação deve ser incluída no plano de acção enviado ao controlador de cada equipamento.

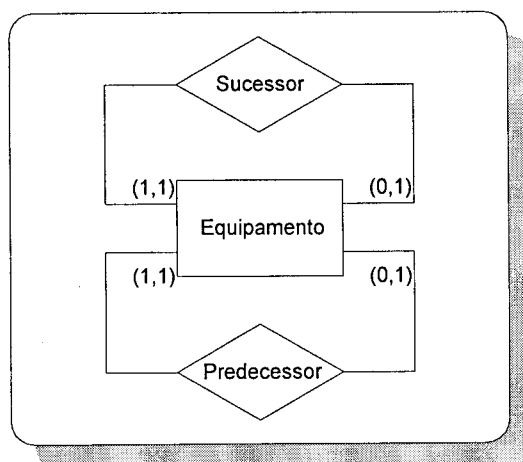


Figura 6.4 - Identificação da sequência do processo.

O coordenador requer também o conhecimento do sistema de transporte que efectua a transferência dos materiais entre os elementos que constituem a célula. A informação necessária está relacionada da forma como se mostra na figura 6.5.

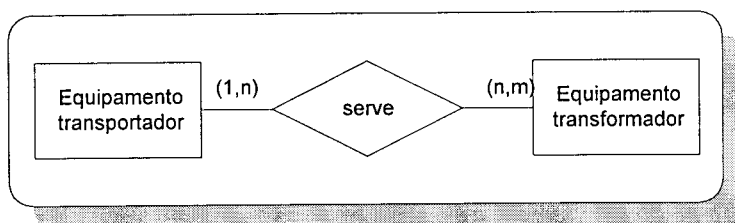


Figura 6.5 - Discriminação do sistema de transporte no interior da célula.

O conhecimento da informação relativa ao transporte e contacto com entidades exteriores à célula, é transferido para os controladores, pelo sistema de registo dos equipamentos do gestor. Este mecanismo foi descrito em §5.3.1.

6.2.2.2.2 Requisitos

Uma operação requer a reunião do conjunto de meios necessários à sua execução, como se mostra na figura 6.6.

Esta informação está relacionada com o planeamento do processo. A sua consulta poderá ser efectuada na base de dados do mesmo. Contudo, a existência de um número elevado de equipamentos na oficina, contribui para que a dimensão da base de dados do planeamento do processo seja considerável. Este facto, aliado à necessidade de acesso dos diversos controladores de equipamento pode ocasionar situações de congestionamento à referida base de dados.

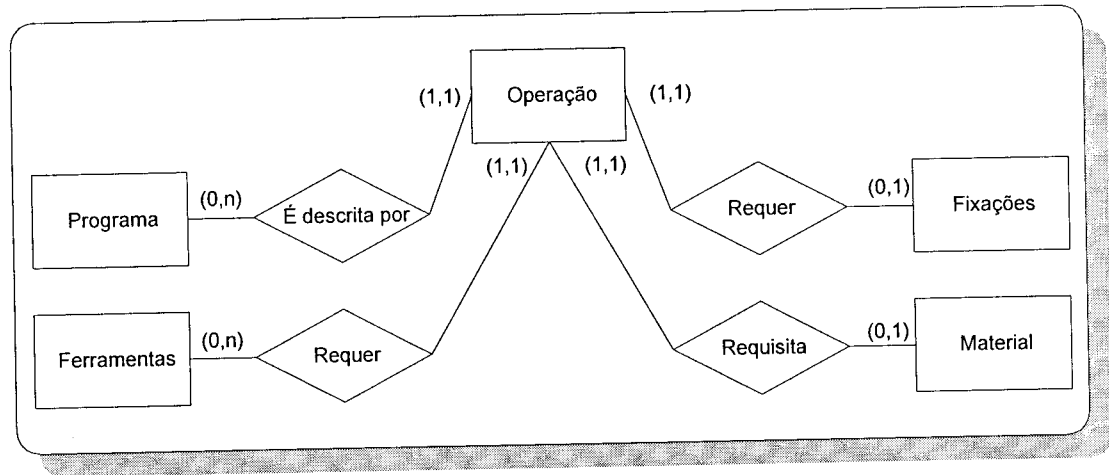


Figura 6.6 - Requisitos para a realização da operação.

O avanço na direcção da autonomia do controlador implica que este tome localmente decisões. O processo de decisão tem associado a necessidade de informação. Estes factores apontam para a escolha de uma base de dados local, com os consequentes benefícios que advêm dessa decisão, ou seja cada equipamento possui um conjunto significativo da informação local, relativa ao processo efectuado por si. Assim, o planeamento do processo deverá transferir a informação relativa ao equipamento em causa para uma base de dados local, propriedade desse equipamento. Esta forma de organizar a informação, permite um menor acesso simultâneo a uma base de dados centralizada e tomar decisões locais mais rápidas.

6.2.2.3 Utilização de Ferramentas

Na secção anterior foi referida a necessidade de conhecer os requisitos necessários para efectuar uma determinada operação. As ferramentas fazem parte desses requisitos. Contudo, o coordenador necessita conhecer mais do que o simples tipo da ferramenta utilizada. Requer também o conhecimento da posição relativa, onde o programa NC vai adquirir as ferramentas, como se mostra na figura 6.7.

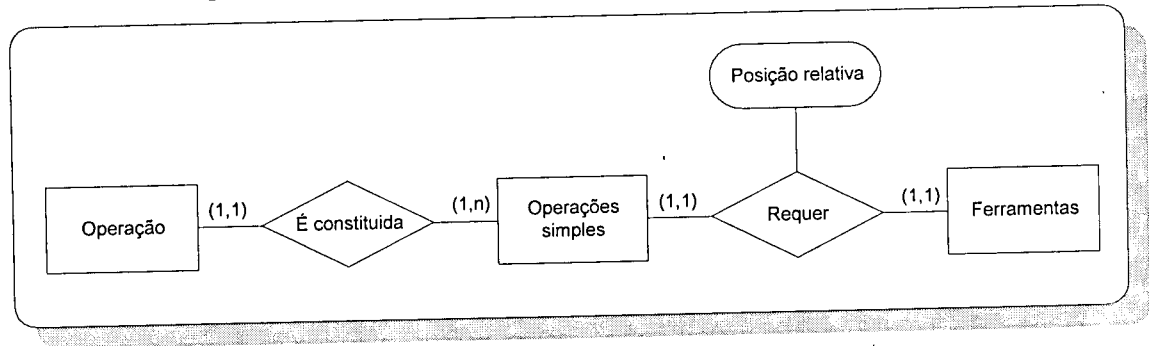


Figura 6.7 - Informação relativa ao armazém virtual do equipamento.

A importância do conhecimento da posição relativa onde o programa irá adquirir a ferramenta, prende-se com a consistência dos programas NC. Estes são realizados pelo sistema CAD/CAM e posteriormente guardados numa biblioteca de programas NC, num servidor de ficheiros. Sempre que a realização de uma operação é requerida no equipamento para que foi concebido, existe um problema de consistência da sua informação ao nível da posição e parâmetros de correcção das ferramentas. É necessário corrigir essa inconsistência. Esta operação é realizada pelo executor baseado na informação da posição relativa da ferramenta requerida. Este assunto será de novo abordado em §6.3.1.1.1.

6.2.2.4 Configuração e Ocupação do Equipamento

A decisão de iniciar uma operação ou de indicar a outro equipamento a disponibilidade de executar a operação, requer conhecimento do estado e configuração do equipamento. Esta relaciona-se da forma representada na figura 6.8.

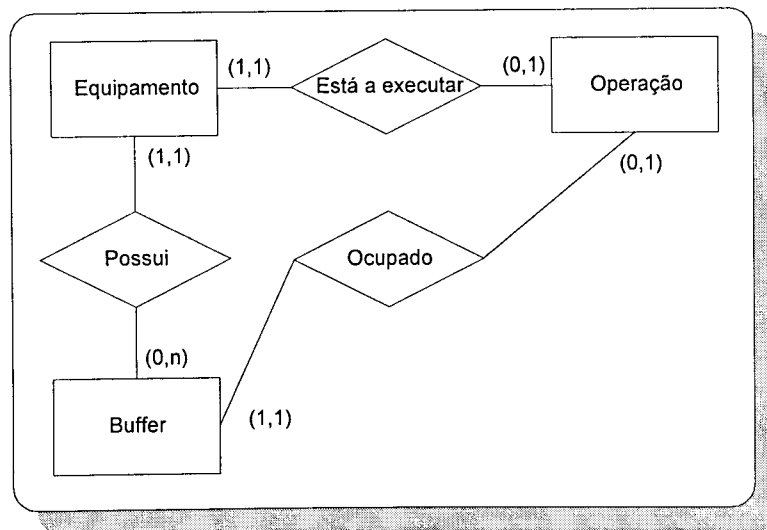


Figura 6.8 - Estado e configuração do equipamento.

A informação utilizada refere-se ao número de buffers que o equipamento possui e ao seu estado de ocupação. No caso de estarem ocupados, a informação permite identificar as operações que lhe estão afectas.

Esta informação resulta da interacção entre os diversos equipamentos, da informação sobre a realização do processo adquirida pelo monitor e ainda do conhecimento da estrutura do equipamento, contida na base local afecta ao mesmo.

6.2.2.4.1 Pedidos Pendentes

O estado de ocupação do equipamento pode implicar que pedidos de realização de uma operação obtenham como resposta "equipamento ocupado". Este tipo de resposta tem como

consequência, o não lançamento da operação do equipamento que efectuou o pedido, sem que exista disponibilidade do equipamento contactado. A ocorrência deste cenário obriga o coordenador tomar conhecimento dos equipamentos que o contactaram e a operação em causa. Essa informação é armazenada numa lista de pedidos pendentes (cuja a informação se relaciona da forma mostrada na figura 6.9), e servirá ao coordenador para contactar o referido equipamento quando existir disponibilidade.

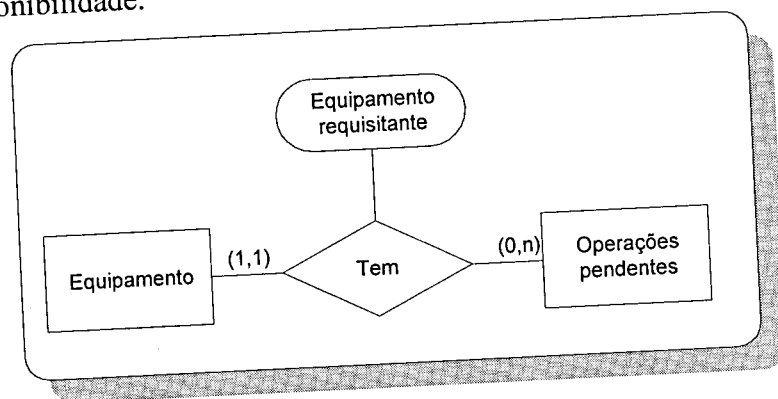


Figura - 6.9 Pedidos de execução pendentes.

6.2.3 As Interfaces

O controlador tem como missão coordenar as operações no equipamento que lhe estão associadas e cooperar com outros controladores que constituem a controlador de célula, na realização das tarefas afectas à mesma. A execução destas tarefas exige que o controlador interactue com os diferentes intervenientes no processo.

Nesta secção serão referenciadas as interfaces, com o módulo coordenador do controlador.

6.2.3.1 Com Gestor

A relação entre controlador e gestor, assume duas vertentes:

- Gestão de associação e configuração do controlador de célula;
- Atribuição de planos acção e acompanhamento da sua execução.

Esta interacção traduz-se num conjunto básico de mensagens trocadas entre as duas entidades. Uma descrição mais detalhada desta interface foi descrita em §5.5.2.

6.2.3.2 Com Executor

O coordenador estabelece os planos de acção para execução no equipamento e efectua o seu despacho na altura exacta da sua realização. Devido ao facto de o coordenador trabalhar num nível substancialmente diferente dos controladores locais do equipamento, existe a necessidade de suprir esta diferença. Desta forma, o controlador recorre ao módulo executor para

desempenhar essa função. Este módulo funciona de certa forma como uma interface, interpretando os planos do coordenador e mapeando-as em acções correspondentes no equipamento. Assim, é necessário estabelecer um conjunto de mensagens que permitam estabelecer um diálogo entre coordenador e executor. As mensagens correspondem ao conjunto de informação contida nos planos de execução, que se processa no sentido coordenador/executor. No sentido contrário resumem-se à notificação do coordenador da conclusão dos planos de execução.

Devido à particularidade do executor funcionar como interface do nível equipamento, dedicando parte substancial da sua operação à interpretação das mensagens (planos) enviados pelo coordenador, a sua análise é efectuada em §6.3.1.

6.2.3.3 Intercontroladores

A autonomia dos controladores dos equipamentos que constituem o controlador de célula, provoca a necessidade destes cooperarem entre si na realização das diversas tarefas afectas à célula. Esta forma de funcionamento exige a comunicação entre controladores. Esta comunicação processa-se através da troca de mensagens entre os níveis homólogos dos controladores intervenientes.

6.2.3.3.1 Interação Entre Coordenadores

A realização das diversas tarefas no interior da célula requerem dos controladores que a constituem, o estabelecimento das condições para a sua realização. Estas passam pelo estabelecimento da cadeia de produção no interior da célula, ou seja, é verificada a disponibilidade dos equipamentos intervenientes no processo. O mecanismo da constituição da cadeia é mostrado na figura 6.10. Há igualmente necessidade de coordenação entre controladores, quando se efectuam operações de início e transferência do processo entre equipamentos. Esta operação é assegurada ao nível das entidades coordenadoras.

A interacção ao nível dos coordenadores estabelece-se quer com equipamentos transformadores, quer transportadores: nos primeiros, no sentido de acordar a evolução do processo; com os segundos, na atribuição de funções de transporte e requisição do seu início. Este tipo de diálogo entre coordenadores é efectuado por um conjunto básico de mensagens trocadas entre níveis homólogos dos controladores.

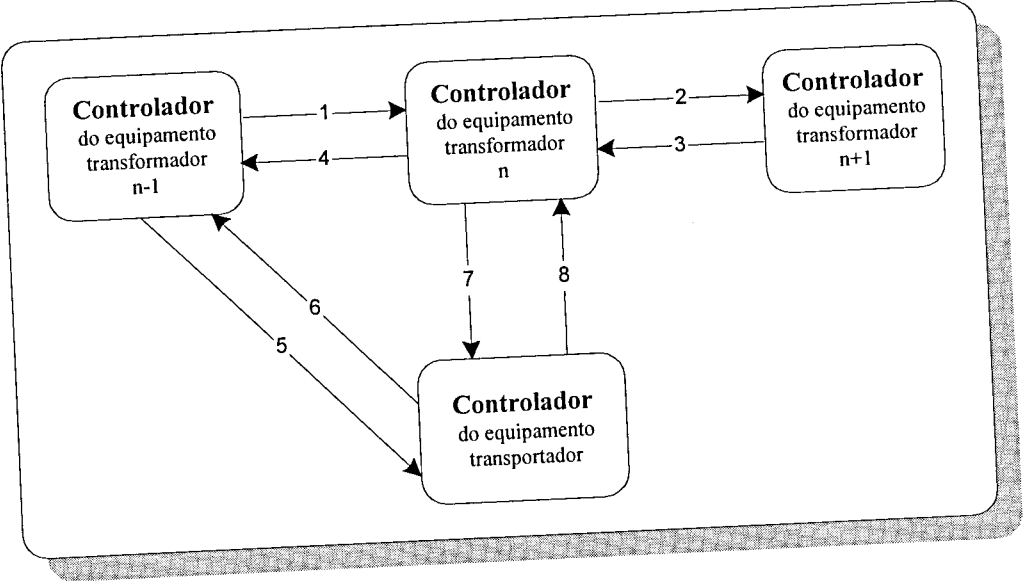


Figura 6.10 - Estabelecimento da cadeia de produção.

6.2.3.3.1.1 Estabelecimento da Cadeia de Produção

A preparação das tarefas pelos controladores dos equipamentos que intervêm no processo de produção, é desencadeada através da troca de mensagens entre os mesmos. Desta forma, as tarefas entram em fase de preparação nos diferentes controladores e simultaneamente, é verificado o estabelecimento da cadeia de produção, formada pelos equipamentos. Esta forma de activar as operações é desencadeada do equipamento que inicia o processo para o responsável pela sua finalização. Durante a fase de preparação, ilustrada na figura 6.11, os controladores trocam entre si as seguintes mensagens:

- **Preparação de operação.** A presente mensagem é enviada pelo controlador N, ao controlador N+1 que imediatamente o sucede na cadeia de produção (ver tabela 6.1). Esta mensagem deve ser usada para disparo da preparação da operação a que se refere. Este processo propaga-se a todos os equipamentos que intervenham no processo de produção desencadeado pela operação em causa.

Tabela 6.1 - Pedido de preparação de operação.

PREPARAÇÃO DE OPERAÇÃO	
Destinatário	Controlador do equipamento sucessor
Tipo	Preparação da operação
Operação	Código de operação

- **Confirmação.** O controlador contactado emite uma resposta de confirmação baseada na análise da calendarização das operações que lhe estão atribuídas, e também com base no resultado da confirmação dos restantes equipamentos da cadeia. Esta mensagem de confirmação ao pedido de preparação de operação permite verificar o estabelecimento da cadeia de produção, representada na tabela 6.3;
- **Preparação de transporte.** Cada controlador que inicia a preparação de uma operação, indica ao sistema de transporte a operação em causa e entre que equipamentos esta se irá processar, como se mostra na tabela 6.2. Desta forma, o sistema toma conhecimento das operações de transporte que terá de efectuar e inicia a preparação das mesmas.

Tabela 6.2 -Pedido de preparação de transporte.

PREPARAÇÃO DE TRANSPORTE	
Destinatário	Controlador equipamento transportador
Tipo	Preparação de transporte
Operação	Código de operação
Intervenientes	Indicação das entidades entre as quais se efectua o transporte

- **Confirmação.** O sistema de transporte, após a recepção de um pedido de preparação de uma operação de transporte, emite uma mensagem de reconhecimento ao controlador do equipamento que a efectuou, como se pode ver na tabela 6.3. Desta forma, o controlador que estabeleceu contacto, toma conhecimento da disponibilidade do sistema de transporte.

Tabela 6.3 - Mensagem de confirmação.

CONFIRMAÇÃO	
Destinatário	Controlador que requisitou a preparação
Tipo	Confirmação
Resultado	Disponível / Indisponível

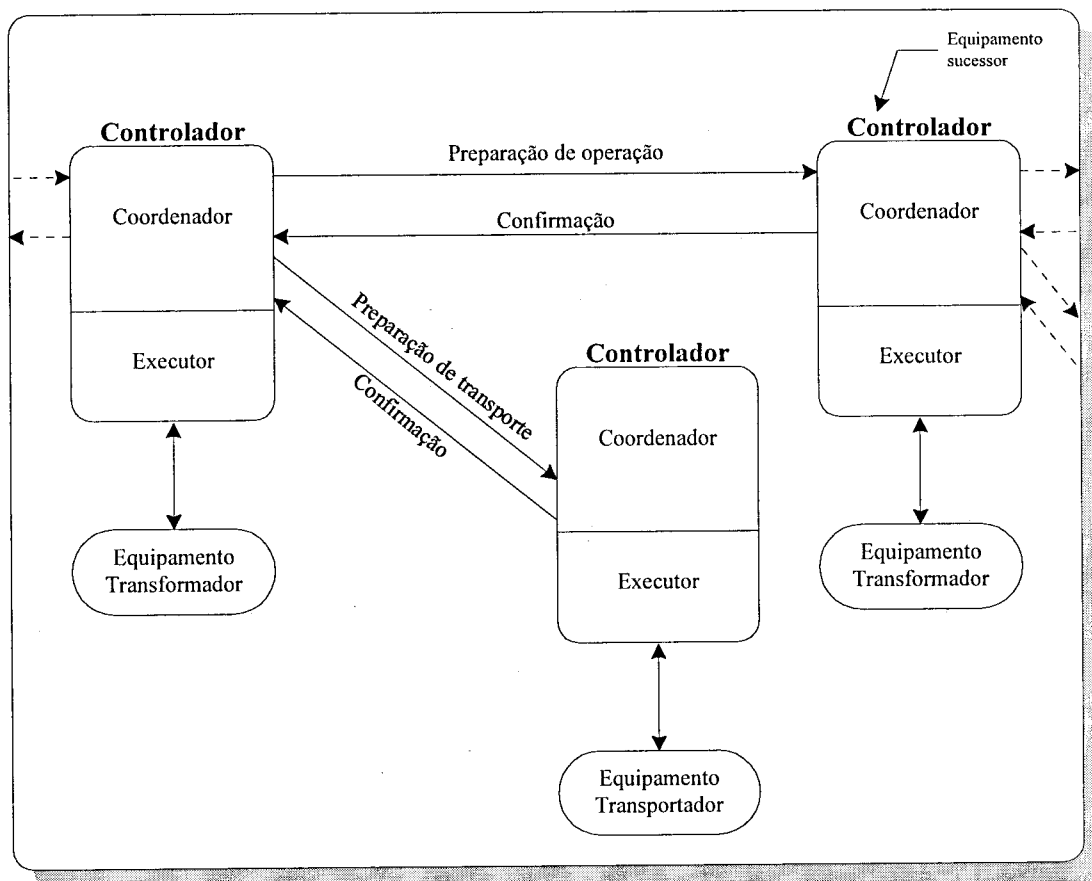


Figura 6.11 - Processo de preparação para a realização de uma operação.

6.2.3.3.1.2 Contratação dos Recursos

O início da execução de uma operação num determinado equipamento, está dependente da disponibilidade do equipamento que o sucede na cadeia de produção. Desta forma, torna-se necessário contactar o controlador desse equipamento, não só para verificar a sua disponibilidade, mas também para o reservar de forma a assegurar o prosseguimento da tarefa atribuída à célula. Este procedimento é efectuado através de troca de mensagens entre os dois controladores intervenientes, como mostra a figura 6.12. O procedimento segue as seguintes etapas:

- **Requisição de equipamento.** Esta mensagem funciona como a reserva de equipamento, ou lugar no seu buffer, de forma a poder dar continuidade ao processo de produção, como se vê pela tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Requisição de equipamento.

REQUISICÃO DE EQUIPAMENTO	
Destinatário	Controlador do equipamento sucessor
Tipo	Requisição de equipamento
Operação a efectuar	Código de operação

- **Resultado da requisição.** O equipamento contactado enviará uma resposta assinalando o seu estado quanto à disponibilidade de executar a tarefa para que foi requisitado. Esta resposta pode ser positiva ou negativa. No primeiro caso o equipamento que requereu a reserva dará início à execução da operação que tem escalonada. No caso do equipamento não possuir disponibilidade para atender o pedido do equipamento, devido a encontrar-se ocupado e não possuir espaço em buffer, o controlador do equipamento que efectua a requisição não iniciará a operação. Este procedimento funciona como um mecanismo de auto-regulação do sistema. Evitando que um equipamento produza mais do que a capacidade de processamento do equipamento que o sucede.

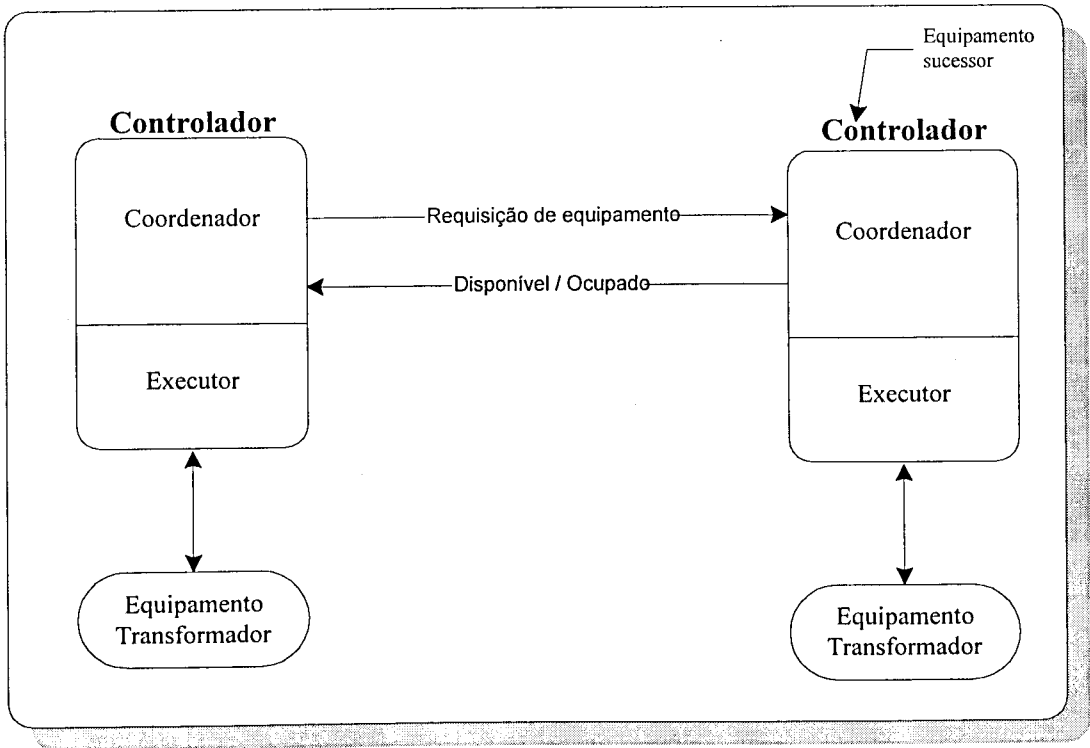


Figura 6.12 - Reserva de equipamento.

6.2.3.3.1.3 Disponibilidade do Equipamento

Existem cenários nos quais um controlador após efectuar um pedido de requisição de equipamento, recebe como resposta "equipamento ocupado". Perante este cenário o controlador que a efectuou, suspende o início da operação até à existência de disponibilidade do equipamento requisitado, que dará seguimento à execução da operação em causa. Torna-se assim necessário que o equipamento indisponível contacte o requisitante de forma a indicar-lhe a sua disponibilidade quando este a possuir (figura 6.13). Assim, o controlador que recebe esta mensagem pode iniciar a operação que tinha ficado suspensa.

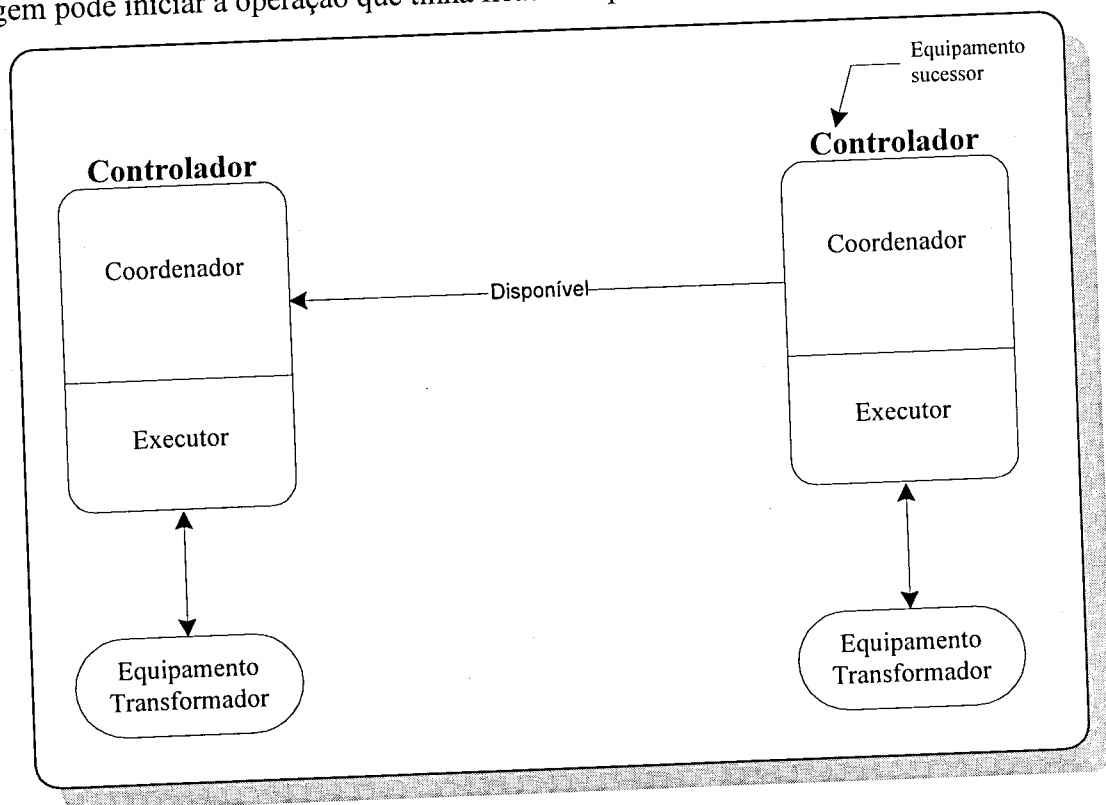


Figura 6.13 - Indicação de disponibilidade do equipamento.

6.2.3.3.1.4 Contractação de Transporte

Após a conclusão de uma operação num equipamento, existe a necessidade da transferência para o próximo equipamento da cadeia de produção, do item cuja operação foi concluída. Desta forma, é necessário estabelecer contacto com o controlador do equipamento a que se destina, e providenciar transporte para a sua transferência, como mostra a figura 6.14.

O processo de negociação da transferência do item entre equipamentos é efectuado através das seguintes mensagens:

- **Pedido de transferência da operação.** O controlador do equipamento que concluiu a operação, envia uma mensagem ao controlador do equipamento que se sucede na cadeia de produção. Esta mensagem requisita a transferência do item que vai ser trabalhado nesse equipamento, como ilustra a tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Pedido de transferência de operação.

TRANSFERÊNCIA DE OPERAÇÃO	
Destinatário	Controlador do equipamento
Tipo	Transferência da operação
Operação a efectuar	Código de operação

- **Posição de transferência.** O controlador do equipamento contactado para receber o item, verifica a posição para a qual este deve ser transferido e envia uma mensagem com essa indicação (ver tabela 6.6). A transferência pode ser efectuada, directamente para o equipamento ou provisoriamente para um buffer.

A resposta ao pedido de transferência é sempre positiva. Este facto é devido ao mecanismo de reserva do equipamento que executa a próxima operação da cadeia de produção;

Tabela 6.6 - Indicação de posição de transferência.

POSIÇÃO DE TRANSFERÊNCIA	
Destinatário	Controlador do equipamento que requisitou a transferência
Tipo	Posição de transferência
Posição	Identificação do local de transferência

- **Transferência para posição.** Com o conhecimento da posição para a qual o item deve ser transferido, o controlador do equipamento que concluiu a operação requisita o sistema de transporte, para transferência do item para essa posição. Esta requisição é efectuada através de uma mensagem contendo informação inerente ao transporte, como se mostra na tabela 6.7;

Tabela 6.7 - Pedido de início de transporte.

INÍCIO DE TRANSPORTE	
Destinatário	Controlador equipamento transportador
Tipo	Início de transporte
Operação	Código de operação
Posição	Indicação da posição de destino

- **Reconhecimento.** O controlador do sistema de transporte envia uma mensagem de reconhecimento do pedido de transferência que foi efectuado. Esta mensagem é o culminar do processo de negociação entre os coordenadores dos controladores, passando a operação de transferência para o nível dos executores.

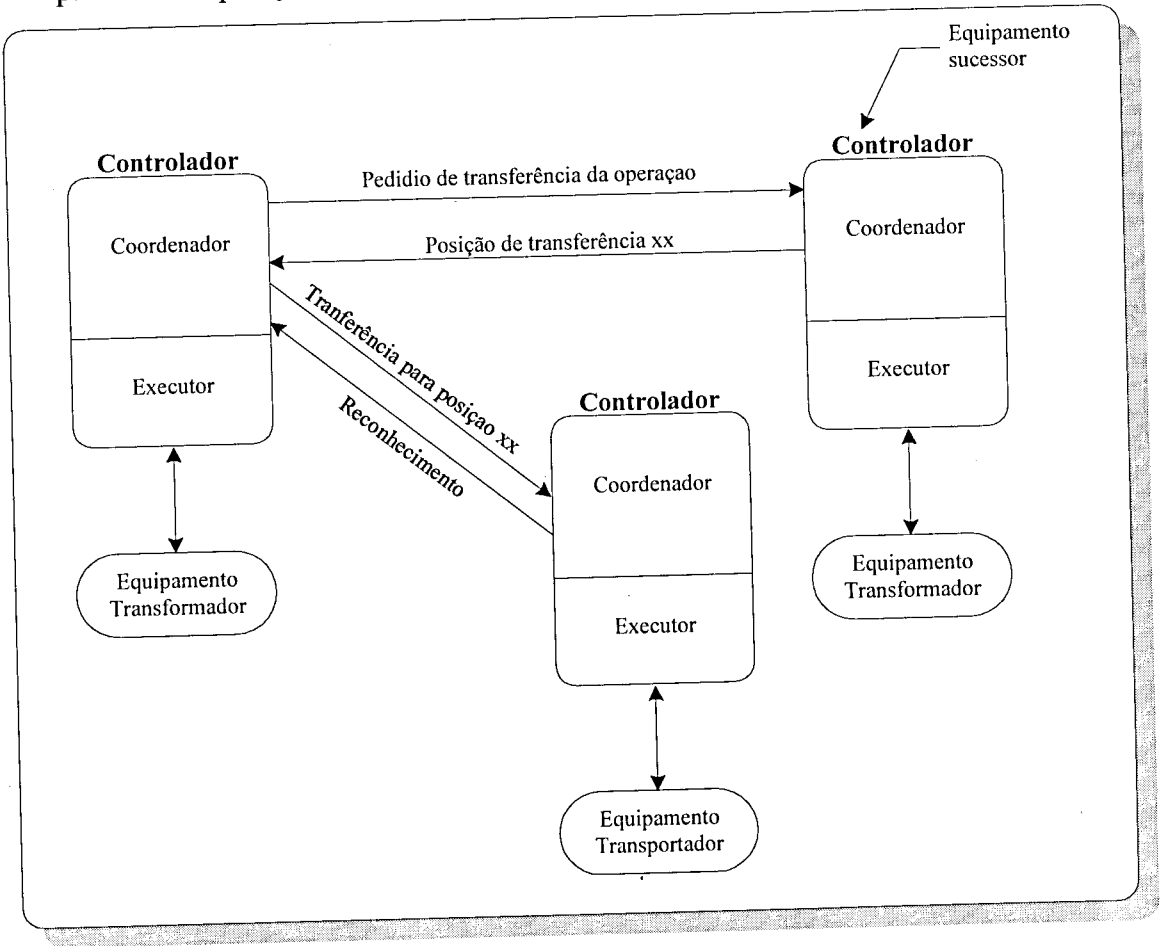


Figura 6.14 - Negociação de transferência de operação.

6.2.3.3.2 Interação entre Executores

Os equipamentos requerem diversos tipos de interação, podendo estes ser de configuração, ou intervenção para carga ou descarga de ferramentas, materiais, etc. Estes últimos necessitam de intervenção de outros equipamentos ou pessoas, no caso o sistema de transporte. A realização desta interação é a continuação do processo de negociação entre os coordenadores dos equipamentos intervenientes, agora em fase de consumação da operação. Contrariamente à negociação entre coordenadores nesta fase, a interação estabelece-se somente entre executores de equipamento transportador e transformador. Esta interação torna-se imprescindível para sincronizar os equipamentos durante as operações de carga e descarga.

A interação entre equipamento de transporte e equipamentos transformadores é constituído por um conjunto de primitivas de sincronização, que são enviadas com base no conhecimento da máquina de estados do procedimento executado por cada equipamento (ver figura 6.15).

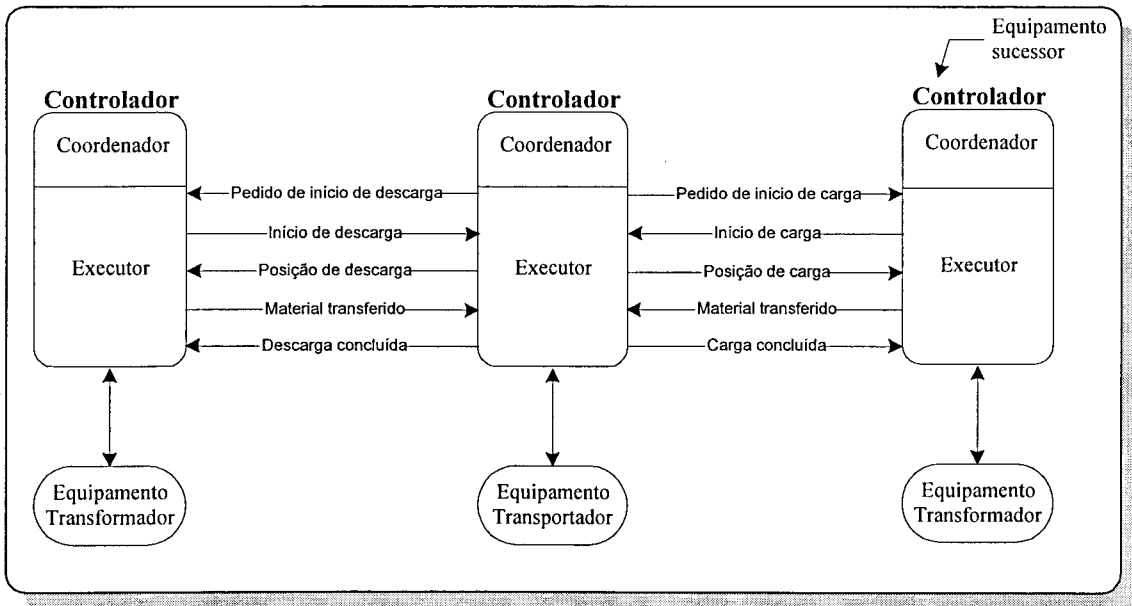


Figura 6.15 - Sincronização dos equipamentos durante o processo de transferência.

6.3 O Executor

O executor é responsável pela interação com o nível operacional. Estabelece a ligação entre o controlador e o equipamento que lhe está associado, mais concretamente com o seu controlador local. O módulo executor funciona como servidor do coordenador e transforma os planos de execução, que contêm os procedimentos a realizar, em ações situáveis ao controlador local do equipamento fabril.

A tarefa do executor é o culminar da divisão do problema do controlo em subproblemas naturalmente mais simples, percorrendo os diversos níveis da arquitectura de controlo, até atingir a resolução da acção, como mostra a figura 6.16.

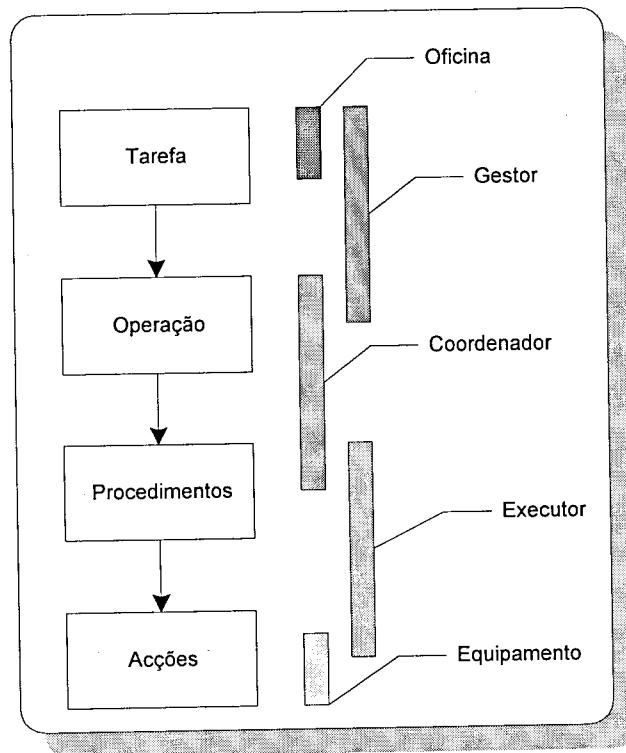


Figura 6.16 - Divisão do problema de controlo.

O executor efectua a interface entre o coordenador e o controlador local do equipamento fabril. No cumprimento das suas funções o executor trabalha a dois níveis distintos:

- Interpretação planos do coordenador e reunião das condições para a sua execução;
- Interacção com os equipamentos.

6.3.1 Interpretação de Planos de Acção

O executor tem como função interpretar os planos de acção e mapeá-los em acções no equipamento. Essas acções podem corresponder à transferência de programas, de parâmetros, carga/descarga do equipamento, execução de programas de transformação e de teste, etc. Ver figura 6.17.

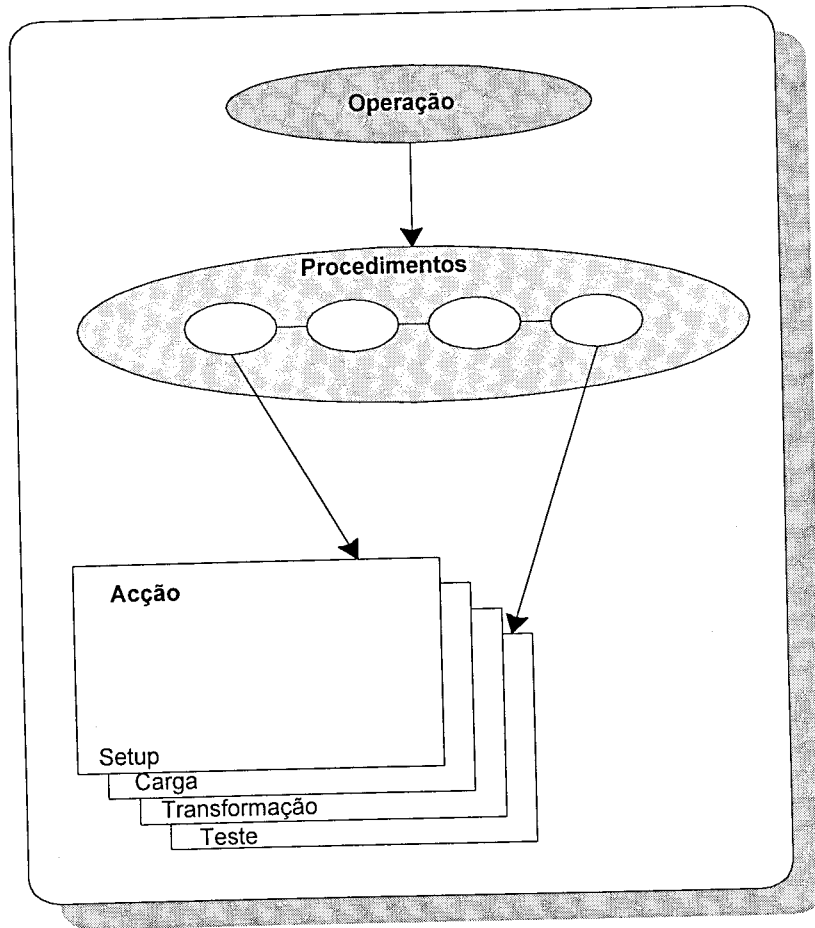


Figura 6.17 - Mapeamento das operações em acções no equipamento.

A execução do plano de acção traçado pelo coordenador, requer que o executor efectue as acções contidas nos procedimentos, tendo como base de decisão a informação do plano e o estado do equipamento. Os diversos procedimentos estão devidamente sequenciados, possuindo cada um a sua própria máquina de estados. Cada máquina de estados decompõe o procedimento que representa, num conjunto de acções elementares desempenhadas pelo equipamento. A sequência entre procedimentos é controlada pelo coordenador. Desta forma, um plano do coordenador pode descrever uma operação completa, incluindo os diversos procedimentos que a compõem, ou um subconjunto eventualmente singular de procedimentos. De seguida, descreve-se os diversos procedimentos que pode conter um plano do coordenador.

6.3.1.1 Setup

O objectivo do procedimento de *setup* é a transferência de parâmetros e programas de configuração do equipamento para as operações que este irá efectuar. Ver tabela 6.8.

Tabela 6.8 - Procedimento de *setup*.

SETUP	
Objectivo	Transferência de parâmetros de configuração para o equipamento.
Identificação operação	Lista dos ficheiros ou parâmetros a transferir.
Próximo procedimento	Identificação do próximo procedimento, p.e.: <i>carga de equipamento</i> .

O procedimento de *setup* visa a configuração do equipamento. Nesta acção são transferidos todos os programas e parâmetros que sejam necessários no equipamento durante o decorrer da operação escalada para o equipamento. Esta função é realizada através do acesso a servidores de ficheiros, onde estão contidas as bibliotecas de programas.

Os programas podem incluir:

- Programa de carga do equipamento;
- Programa de transformação, ou maquinagem;
- Programas de teste, quando o equipamento estiver capacitado para os efectuar e exista interesse da sua realização;
- Programas de descarga do equipamento.

Os parâmetros podem incluir:

- Referências mecânicas;
- Valores de compensação de raio e longitude de ferramentas;
- Referências da localização de ferramentas.

A conclusão do procedimento de *setup*, desencadeia o início de outro procedimento, ou a indicação do coordenador do término da operação.

6.3.1.1.1 Consistência de Programas NC

O trabalho de concepção de um produto pelo departamento de engenharia resulta na geração de planos, desenhos e programas NC para a sua execução. Estes programas são gerados pelo sistema de CAD/CAM. São resultado da passagem por um sistema de processamento e posprocessamento, e têm com o resultado final um programa NC de acordo com a norma ISO6983.

O sistema gera um programa NC, para um determinado equipamento, no qual está contido a informação relativa às trajectórias, comandos, mudança de ferramentas, etc.

A indicação directa das posições da ferramentas, que irão ser utilizadas no processo de maquinagem, provoca a inconsistência desta informação. A ocorrência da inconsistência do programas NC fica a dever-se à persistência dos mesmos. Concretizando, um programa não é gerado para utilização imediata. Irá antes, para uma biblioteca de programas NC, da qual será requisitado pelos equipamentos a que está destinado, sempre que seja necessário executar a operação que descreve. Quando este for requisitado para ser utilizado, existe uma grande probabilidade de que, as ferramentas que devem executar a operação, não se encontrem na posição da máquina que foi indicada na sua concepção.

Uma forma de evitar essa inconsistência, passa pela referência indirecta da posição das ferramentas, sendo esta informação passada através de um parâmetro contido na memória do equipamento. Assim, este sistema permite estabelecer um armazém virtual de ferramentas.

O conhecimento do tipo de ferramentas que poderão executar a operação e do local onde o programa NC irá adquirir a posição da ferramenta, permite ao controlador manter a consistência da informação do ficheiro NC.

O coordenador analisa as ferramentas que possui em armazém e as que são necessárias no processo de transformação. Decide quais ferramentas que deve utilizar e se necessário, requisita e indica em que posição do armazém devem ser instaladas. O envio dos parâmetros da referência da localização das ferramentas, ou seja, a transferência do armazém virtual para a memória do equipamento, permite adaptar a ocupação real do armazém com a posição das ferramentas referida no programa. Este processo é efectuado no procedimento de *setup*.

6.3.1.2 Carga de Equipamento

A função do procedimento *carga de equipamento* é o abastecimento deste com o material que irá sofrer as transformações, resultantes da operação afecta ao equipamento. Ver tabela 6.9.

Tabela 6.9 - Procedimento de carga de equipamento.

CARGA DE EQUIPAMENTO	
Objectivo	Abastecimento do equipamento com material a maquinar
Identificação da operação	Executar o programa (nome do programa)
Agentes intervenientes na operação	Identificação do sistema de transporte
Próximo procedimento	Identificação do próximo procedimento, p.e.: <i>transformação</i>

O procedimento de *carga de equipamento* é caracterizado pela necessidade intervenção de uma entidade externa ao equipamento.

A sua realização é função da execução de um programa em que o equipamento efectua as diversas operações conducentes à sua carga. O procedimento percorre as diversas etapas da sua máquina de estados, com base na informação do equipamento proveniente do monitor. Desta forma, o executor pode garantir a sincronização entre o equipamento e o sistema de transporte. A sincronização é estabelecida através da comunicação entre os dois níveis executores dos controladores, que se baseiam no conhecimento do estado dos seus equipamentos, como mostra a figura 6.18.

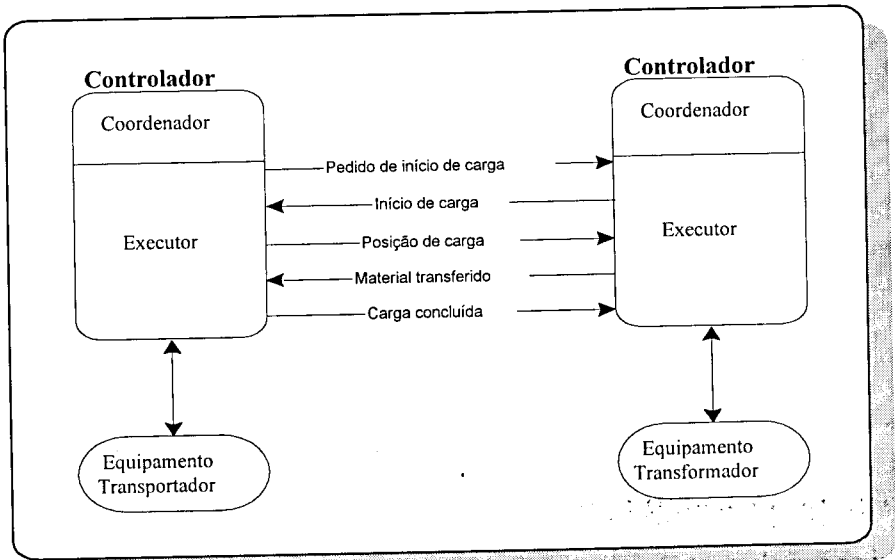


Figura 6.18 - Sincronização para carga de equipamento.

A conclusão do procedimento de *carga de equipamento* desencadeia o início de outro procedimento, ou a indicação do coordenador do término da operação.

6.3.1.3 Transformação

A função do procedimento de *transformação*, é a execução das acções que alteram as características mecânicas do material de acordo com os objectivos pretendidos. Ver tabela 6.10.

Tabela 6.10 - Procedimento de transformação.

TRANSFORMAÇÃO	
Objectivo	Execução da peça ou de um item
Identificação da operação	Executar o programa (nome do programa)
Próximo procedimento	Identificação do próximo procedimento, p.e.: <i>teste</i>

A operação de transformação é o objectivo do processo de produção. A sua realização é geralmente o resultado da execução de um programa NC, no qual estão descritas as diversas acções do equipamento durante o processo.

A duração do processo de transformação é dependente do tipo e número de operações, mas pode assumir um valor considerável. O processo de transformação pretende-se atómico, ou seja sem ocorrência de interrupções. Contudo, este está sujeito a interrupções por mau funcionamento de algum órgão do equipamento. Este tipo de ocorrência é indesejável não só pela paragem do processo em si, mas também pelo problema de como reatar o processo. Este cenário aponta para a necessidade de recuperar deste tipo de estados.

6.3.1.3.1 Recuperação de Falhas

As interrupções do processo, pela ocorrência de eventos anormais no equipamento, levantam o problema de como recuperar dessa situação. A resolução da anomalia não é suficiente para a solução do problema.

Caso a anomalia não tenha danificado o item que está a ser produzido, põe-se a questão de saber em que ponto deverá ser reiniciado o processo:

- Início;
- Ponto onde ocorreu a anomalia.

A primeira solução pode eventualmente ser a mais simples de implementar. Contudo será a mais ineficiente. O facto de retomar a operação do princípio, quando uma elevada percentagem já estava realizada, traduz-se na ocupação desnecessária do equipamento, sendo mais grave quando a operação é morosa.

Retomar a operação do ponto onde ocorreu a anomalia seria o ideal. Contudo, a determinação do ponto de ocorrência da anomalia é difícil. Por seu turno, pode não ser possível retomar a operação nesse ponto. Operações em metalomecânica, nomeadamente em máquinas CNC, tornos e fresas, é um exemplo onde essas dificuldades se fazem sentir. Retomar uma operação fora do início previsto pode ocasionar uma colisão do sistema de corte com o material que está a ser trabalhado. Este cenário de extrema gravidade, é devido ao facto de o retomar da operação, com o posicionamento da ferramenta no local onde ocorreu a anomalia, não corresponder concretamente às trajectórias planeadas pelo sistema de CAD/CAM.

Uma solução possível para este caso é o estabelecimento de marcas que definam a passagem por determinadas etapas do processo. Desta forma, devem ser definidos pontos nos quais o processo possa ser interrompido ou reatado sem perigo para os equipamentos.

A definição destes pontos, durante a fase de projecto, incluído comandos nos programas que provoquem a emissão de um sinal pelo equipamento, permite ao executor contar o número destas ocorrências para que desta forma consiga determinar o posicionamento do processo. A adição ao cabeçalho do programa, código que possibilite ao programa saltar para um desses pontos, permite o estabelecimento de um sistema de recuperação deste tipo de falhas.

6.3.1.4 Teste

O objectivo do procedimento de *teste*, é efectuar medições de cotas, ou de outros valores, relativos aos pontos críticos dos itens, para que se possa estabelecer uma comparação, com os valores pretendidos pela estratégia de controlo de qualidade. Ver tabela 6.11.

Tabela 6.11 - Procedimento de teste.

TESTE	
Objectivo	Proceder a medições de pontos críticos do item produzido
Identificação da operação	Executar o programa (nome do programa)
Próximo procedimento	Identificação do próximo procedimento, indicação do nível superior

O procedimento de *teste*, é efectuado em equipamentos que o permitam e insere-se numa estratégia de controlo de qualidade ao item [Couturier, 92]. Este processo é de grande interesse uma vez que permite detectar anomalias no final de cada operação. Possibilita desta forma uma grande qualidade da oferta e evita que o controlo de qualidade se processe posteriormente ao lote. Esta forma de teste, por se realizar no fim de cada operação, evita uma possível rejeição parcial ou total do lote que de outra forma poderá acontecer.

A realização do teste corresponde à execução de um programa, que em muitas máquinas de controlo numérico accionam uma sonda de medição, a qual efectua as medições pretendidas para o teste.

O conclusão da operação de *teste* desencadeia a indicação do coordenador do término da operação.

6.3.1.5 Descarga de Equipamento

A função do procedimento *descarga de equipamento*, é a remoção do item do seu interior, para um local anteriormente negociado pelo nível coordenador com os restantes intervenientes do processo. Ver tabela 6.12.

Tabela 6.12 - Procedimento de descarga de equipamento.

DESCARGA DE EQUIPAMENTO	
Objectivo	Remoção do item produzido
Identificação da operação	Executar o programa (nome do programa)
Agentes intervenientes na operação	Identificação do sistema de transporte
Próximo procedimento	Identificação do próximo procedimento, <i>indicação ao coordenador</i>

Este procedimento é semelhante ao da *carga de equipamento*. A sua realização é função da execução de um programa em que o equipamento efectua as diversas operações conducentes à descarga. O procedimento percorre as diversas etapas da sua máquina de estados com base na informação do equipamento proveniente do monitor. Desta forma o executor pode garantir a sincronização entre o equipamento e o sistema de transporte. A sincronização é estabelecida através da comunicação entre os dois níveis executores dos controladores, que se baseiam no conhecimento do estado dos seus equipamentos, como mostra a figura 6.19.

A execução do procedimento de *descarga de equipamento* é sempre precedida pela negociação do nível coordenador com o nível homólogo da entidade a que se destina o item produzido. A conclusão da sua execução é sempre seguida de indicação do nível coordenador.

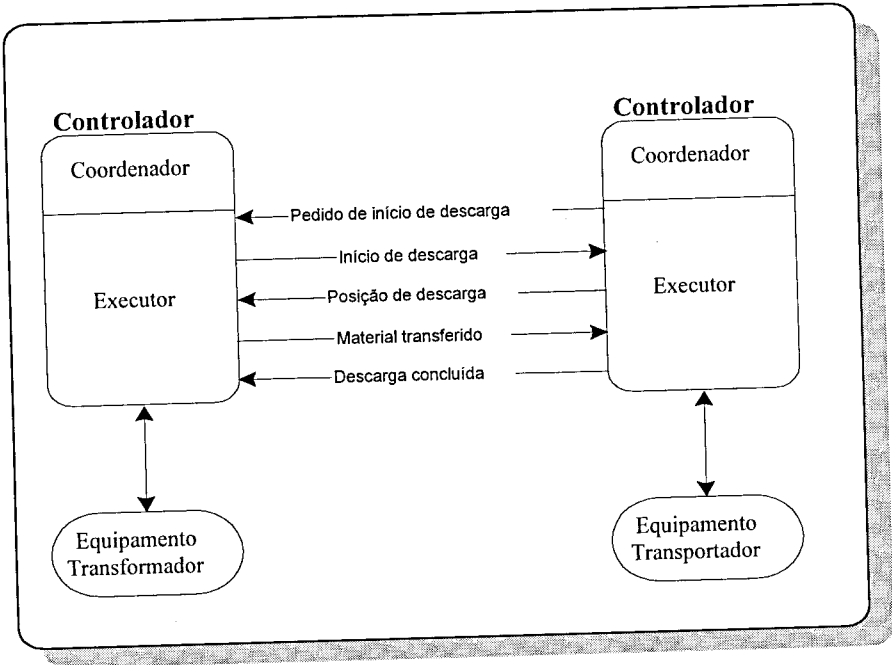


Figura 6.19 - Sincronização na descarga do equipamento.

6.3.1.6 Carga/Descarga de Ferramentas

O procedimento *carga/descarga* de ferramentas tem como objectivo o fornecimento do equipamento, com as ferramentas necessárias às próximas operações, ou a remoção de ferramentas que não irão ser necessárias no processo de transformação. Ver tabela 6.13.

Tabela 6.13 - Procedimento de carga/descarga de ferramentas.

CARGA/DESCARGA DE FERRAMENTAS	
Objectivo	Abastecimento/remoção de ferramentas do armazém do equipamento
Identificação da operação	Orientar o armazém para estação #xx e colocar em posição de transferência de ferramenta
Agentes intervenientes na operação	Identificação do sistema de transporte
Próximo procedimento	Identificação do próximo procedimento, <i>indicação ao coordenador</i>

O procedimento de *carga/descarga* de ferramentas, funciona como um comando directo do coordenador, de forma a gerir as ferramentas contidas no armazém do equipamento. O coordenador, através da análise de requisitos, verifica as ferramentas necessárias à execução das operações que irão decorrer no equipamento e confronta-as com as existentes no armazém.

O resultado desta análise pode ditar a necessidade de abastecimento de ferramentas. Neste caso, o coordenador determina a suas futuras posições no armazém e contrata o seu fornecimento. O processo de transferência para o equipamento processa-se através de um comando de carga/descarga de ferramenta.

A sua realização é efectuada por comando directo no equipamento. A informação do seu posicionamento é fornecida pelo módulo monitor do controlador, permitindo ao executor indicar o sistema de transporte em que pode efectuar a transferência da ferramenta. A conclusão da operação é seguida de indicação do coordenador.

6.3.1.7 Informação do Estado do Processo

O *pedido de informação do estado do processo* ao equipamento, não é considerado um procedimento, mas sim um comando auxiliar, que força o equipamento a fornecer toda a informação relevante do processo. Ver tabela 6.14.

Tabela 6.14 - Pedido de informação do estado do processo.

PEDIDO DE INFORMAÇÃO DE ESTADO DO PROCESSO	
Objectivo	Forçar o envio do estado do processo por parte do equipamento
Identificação da operação	Informação do estado do processo

Este comando é importante pois permite manter uma ligação fraca entre controlador e equipamento, ou seja, se o controlador por algum motivo fôr abaixo, quando arrancar, pede ao equipamento para o informar do estado do processo. O controlador local do equipamento envia toda a informação relevante do seu estado de funcionamento.

O estabelecimento de uma ligação fraca permite que a conclusão das operações não estejam forçosamente dependentes do controlador. Assim, após o início de um procedimento, este evolui até ao seu final, ou até alguma etapa onde tenha de existir intervenção externa. No caso do controlador ir abaixo, existirá sempre a possibilidade da emissão deste comando de forma a sincronizar-se com o equipamento, ou seja, com o controlador de local. Assim o processo prossegue, recuperando deste tipo de falha de uma forma elegante.

6.3.2 Interacção com os Equipamentos

O executor desempenha o papel de interface entre o nível de controlo do processo e o controlo local executado no equipamento. A interacção entre os dois níveis requer o estabelecimento de um protocolo comum que permita a transferência de comandos perceptíveis para o equipamento. A necessidade deste protocolo é ainda mais significativa dada a grande heterogeneidade dos

equipamentos fabris, originários de diversos fabricantes, e ainda devido ao baixo poder de manuseamento de estruturas de dados do controlador local desses equipamentos.

O protocolo usado para suprir a diferença entre os dois níveis é o Manufacturing Message Specification MMS [CNMA 89]. Este protocolo tornou-se um standard reconhecido internacionalmente, resultando daí vantagens na sua utilização, nomeadamente ao nível da interoperabilidade dos equipamentos.

A utilização de uma estrutura cliente/servidor entre os participantes da comunicação, simplifica a concepção de aplicações distribuídas, aliada à sua modelização por objectos, e particularmente a definição de Virtual Manufacturing Device (VMD), no qual está representado o comportamento do equipamento. Permite ao executor manusear os objectos modelizados no VMD e assim interferir no funcionamento do equipamento.

6.4 O Monitor

O monitor representa o sistema de realimentação de informação do controlador. Esta provém do equipamento, sendo fornecida aos diversos módulos que compõem o controlador (figura 6.20). Esta informação é vital para o funcionamento correcto do controlador e consequentemente de toda associação que constitui o controlador de célula. A realimentação permite ao controlador obter informação consistente do estado do equipamento e desta forma decidir correctamente perante os mais diversos cenários.

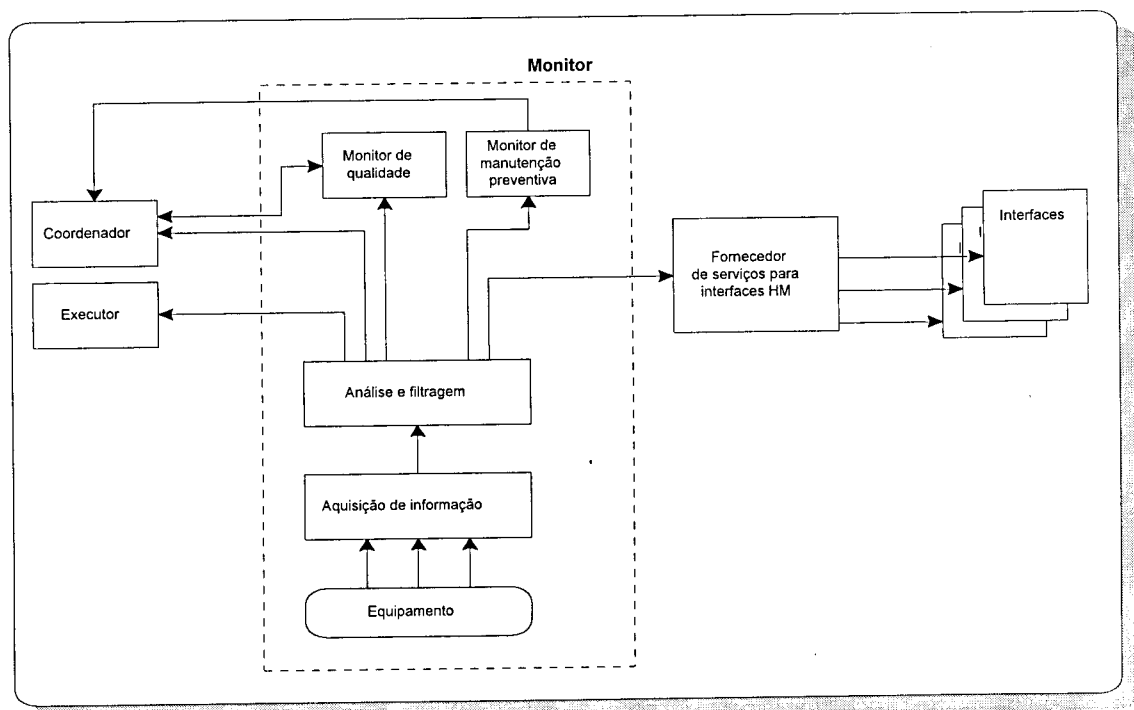


Figura 6.20 - Estrutura do monitor.

6.4.1 Análise Funcional

O monitor é responsável pela aquisição da informação relativa ao processo que ocorre no interior do equipamento. A sua aquisição é efectuada pelo módulo de recolha de informação. Esta é posteriormente analisada no bloco de análise de informação, o qual a identifica e envia aos diversos locais de consumo ou armazenamento, como mostra a figura 6.20.

6.4.2 Análise da Informação

A informação recolhida pelo monitor é proveniente do controlador local do equipamento, e corresponde a acontecimentos de relevo para o controlador, que ocorrem durante o funcionamento do equipamento. O monitor deve interpretar a informação e envia-la aos módulos a que esta se destina.

A informação recolhida pode ser dividida genericamente nas seguintes classes:

- **Eventos.** Estes estão relacionados com acontecimentos de funcionamento normal. A sua existência decorre da execução das diversas operações no equipamento. Exemplos de eventos são:
 - Término de uma operação;
 - Abertura ou encerramento de um sistema de fixação;
 - Abertura da porta de uma máquina;
 - Passagem por uma marca identificadora de uma etapa do processo, etc;
- **Alarmes.** Esta informação está relacionada com situações de funcionamento que requerem uma atenção cuidada da parte do controlador. Esta tem como origem desvios ao funcionamento normal, ou ultrapassagem de valores de segurança de acessórios ou dispositivos do equipamento. Exemplos de alarmes:
 - Ruptura de uma ferramenta;
 - Pré-aviso de término de vida de uma ferramenta;
 - Quebra de pressão do sistema hidráulico, etc;
- **Notificação.** Esta informação está relacionada com estado de funcionamento do equipamento, sendo enviada como resposta a um comando de informação de estado do processo.

6.4.2.1 Utilizadores da Informação

A informação recolhida pelo monitor é posteriormente analisada e endereçada aos diversos módulos. Esta poderá ser transmitida directamente via mensagens, ou indirectamente, sendo neste caso armazenada numa base de dados local e posteriormente acedida pelos módulos interessados:

- **Executor.** O módulo executor necessita da informação que provém do equipamento, essencialmente para fazer evoluir a máquina de estados que suporta o procedimento ordenado ao equipamento;
- **Coordenador.** O coordenador requer do monitor a informação, não relacionada propriamente com os eventos naturais de realização das operações (sendo estas do domínio do executor), mas sim com a informação que influencie o desempenho futuro do equipamento. Entre este tipo de informação encontra-se:
 - Aptidão do equipamento para executar operações;
 - Indicação sobre o tempo de vida das ferramentas, seu desgaste e parâmetros que influenciam a sua utilização em futuras operações;
 - Indicação se os parâmetros de qualidade para a operação executada foram satisfeitos, etc;
- **Monitor de Qualidade.** O monitor de qualidade, quando implementado pelo controlador, necessita de informação que lhe permita confrontar com os parâmetros estipulados no planeamento do processo. Desta forma, é possível ao monitor de qualidade verificar a aceitação ou rejeição do item. A informação fornecida pelo monitor, é resultado das medições efectuadas e que resultam da execução dos programas de teste.

A execução desta tarefa não requer somente informação resultante do procedimento de teste efectuado no equipamento, mas também informação da parte do coordenador. Este deve indicar qual operação que está a ser avaliada. Desta forma é possível aceder à base de dados contendo os parâmetros de qualidade estipulados pelo planeamento do processo.

- **Monitor de manutenção preventiva.** O módulo de monitorização de manutenção do equipamento, requer informação relativa aos diversos dispositivos mais susceptíveis a falhas, ou mesmo de acessórios, que devido ao seu uso evidenciem desgaste susceptível de paragem para troca. A análise desta informação permite notificar o coordenador, o qual verifica o impacto da acção a tomar e, se necessário, informa o gestor reservando um período para manutenção do equipamento.

- **Fornecedor de serviços para interfaces HM.** O sistema de gestão da informação para o fornecimento de serviço de variáveis às interfaces HM, requer o conjunto de toda informação proveniente do equipamento, susceptível, de interesse para as tarefas de supervisão.

6.5 Fornecedor de Serviços para Interfaces Homem/Máquina

A necessidade de efectuar a supervisão do comportamento do equipamento, obriga a estrutura do controlador a prever um módulo para efectuar o serviço de fornecimento a sistemas de interfaces HM de variáveis monitorizadas pelo controlador .

As exigências de supervisão podem ter diversas justificações: supervisão do conjunto dos equipamentos que constituem a célula, análise parâmetros do funcionamento do equipamento, intervenção para reinício de operação após paragem imprevista, etc.

Este tipo de análise não requer necessariamente que a supervisão seja feita localmente, podendo ser efectuada de modo remoto. Assim, existe necessidade de estabelecer condições para esse acesso e providenciar um fornecedor (servidor) de variáveis monitorizáveis.

6.5.1 Análise Funcional

O módulo fornecedor de serviços para interfaces HM é servido pelo monitor com as variáveis definidas como passíveis de interesse para um sistema de supervisão. Estas são um conjunto definido durante a fase de projecto e implementação, fazendo parte do domínio das variáveis definidas no equipamento e que são monitorizadas pelo controlador.

O fornecedor de variáveis, na sua posse, presta vários serviços aos sistemas de interfaces HM que pretendam efectuar supervisão:

- **Serviço de acesso.** Estabelece uma classificação dos utilizadores que acedem ao servidor de variáveis, limitando o acesso a um conjunto bem definido de variáveis;
- **Contracto de um conjunto de variáveis.** O estabelecimento de uma associação ao servidor implica a contratação de um conjunto de variáveis que serão alvo de envio pelo servidor de variáveis. Este contracto evita que o sistema envie variáveis que não irão ser alvo de monitorização, ocupando recursos desnecessariamente (rede de comunicações) [Renaud, 93];

- **Envio de variáveis contratadas.** O envio das variáveis aos diversos sistemas de interfaces que se associam ao servidor é efectuado pelo mecanismo de evento. A aquisição das variáveis pelo monitor do controlador resulta da ocorrência de um determinado acontecimento no equipamento. Este é indicado ao monitor via mensagem, contendo essa informação. Baseando-se neste mecanismo, o servidor analisa quem contratou essas variáveis e envia-as aos respectivos sistemas (figura 6.21). Este sistema evita o *polling*, ou o envio constante das variáveis ao sistema contratante.

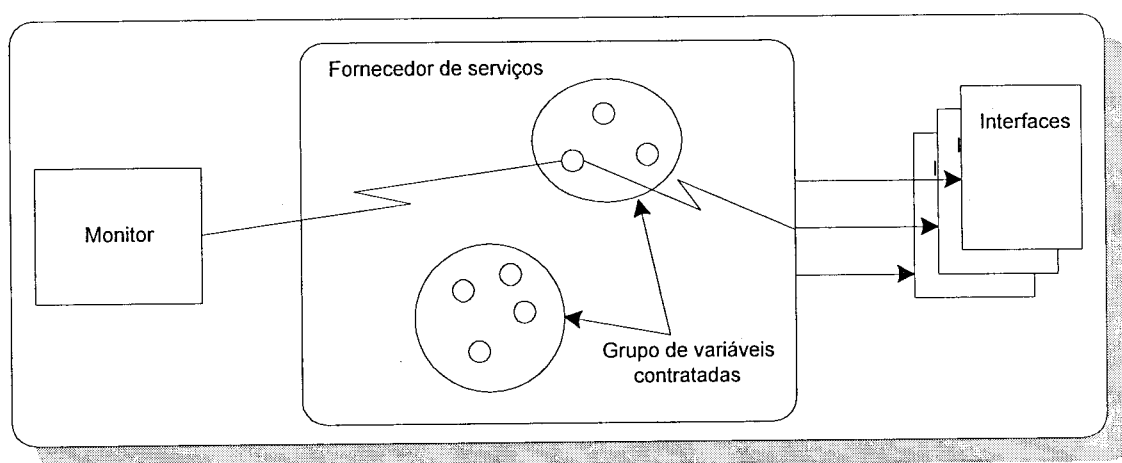


Figura 6.21 - Mecanismo de envio de variáveis ao sistema de interfaces.

6.6 Conclusão

Como foi referido o controlador é a entidade que coordena as operações na estrutura celular, do equipamento a ele associado. A questão da necessidade de especificar uma tal entidade de controlo, quando o equipamento a ele associado já comporta o seu próprio controlador local, resulta deste estar vocacionado para aplicações de baixo nível e, desta forma, estar limitado em termos computacionais. Assim, seria difícil a sua integração num sistema complexo como o caso da célula, no qual é requerida a coordenação com os restantes agentes que participam no processo de fabrico. Deste modo, a especificação do controlador vem suprir esta limitação do controlador local do equipamento e possibilitar a sua integração num sistema complexo como é o caso do sistema de fabrico abordado. De forma a adaptar as diferentes necessidades de controlo, o controlador foi dividido em diferentes módulos: coordenador, executor, monitor e fornecedor de serviços para sistemas de interfaces HM.

O módulo coordenador foi especificado para desempenhar o papel de organizador das acções do seu equipamento na estrutura da célula. Este associa-se ao gestor através do mecanismo de registo. Desta forma fica apto a receber os planos directores traçados pelo gestor, dizendo respeito à realização das operações afectas ao seu equipamento. A realização de uma operação

faz parte de uma etapa, que culmina com a realização das diferentes operações afectas a outros equipamentos e que constituem a tarefa afecta à célula. Assim, devido à autonomia dos controladores, estes têm de cooperar com os restantes controladores por forma a estabelecerem uma cadeia de produção. Esta cooperação é efectuada através da troca de mensagens entre as unidades coordenadoras dos diferentes controladores.

A especificação destes dois mecanismos, consiste no registo e cooperação entre controladores através de mensagens e estabelece uma ligação fraca a unir os diferentes constituintes do controlador de célula. Tais mecanismos contribuem para realçar as características de extensibilidade e modificabilidade do sistema. Em termos de extensibilidade a adição ou remoção de controladores ao controlador de célula é efectuada pelo mecanismo de registo no gestor, sendo esta característica suportada pela autonomia dos controladores. Em termos de modificabilidade, a autonomia dos controladores permite que a estrutura de controlo seja alterada, podendo por exemplo ser adicionadas estratégias específicas ao equipamento. Estas devem ser adicionadas ao módulo mais indicado, ficando unicamente sujeitas ao respeito dos diversos mecanismo que suportam a estrutura do controlador.

O coordenador foi especificado também de forma a conceber os planos de execução para o nível de controlo imediatamente abaixo. Estes são realizados com o conhecimento da informação do processo de fabrico e do estado do equipamento. O envio destes planos de execução está dependente da coordenação das camadas homólogas dos controladores que formam a cadeia de produção. Assim, foi especificado um mecanismo de prevenção de situações de bloqueio do sistema (*deadlocks*) e que simultaneamente auto-regula o desempenho do sistema. O mecanismo de auto-regulação processa-se da seguinte forma: o coordenador só emite uma ordem de execução de uma operação, se o equipamento que dá continuidade ao processo tiver disponibilidade para a executar. Desta forma o equipamento não produz mais do que aquilo que o equipamento que se lhe sucede na cadeia de produção pode processar ou armazenar no seu buffer.

O executor foi especificado para actuar como interface entre o elemento organizador da produção (coordenador) e o controlador local do equipamento. Este recebe os planos de execução que podem corresponder a uma sequência de procedimentos, os quais descrevem as várias operações a desencadear no equipamento. Cada procedimento possui a sua própria máquina de estados, que os mapeia em acções básicas no equipamento. Desta forma, é permitido ao executor acompanhar o desenrolar do processo e estabelecer sincronização (através de mensagens) com as entidades externas ao equipamento, por exemplo, durante a realização da carga ou descarga do equipamento.

Foi também referida a forma como o módulo executor pode recuperar de situações de falhas. Ao nível do processo, o mecanismo de recuperação passa pela definição de pontos de sincronização no qual o processo possa ser interrompido ou reatado, sem pôr em risco equipamentos e materiais. A recuperação de falhas no controlador passa mais uma vez pela ligação fraca entre as entidades intervenientes, no caso, o executor e o controlador local do equipamento. Nesta interacção o controlador local toma a primazia no controlo do processo, assumindo o executor a responsabilidade de ordenar o início de operação e eventualmente a sua paragem. O executor deve também manter sincronizada a máquina de estados do procedimento que está a ser executado em relação à evolução do processo no equipamento. Esta forma de funcionamento permite que em caso de uma falha no controlador o processo prossiga no equipamento até à sua conclusão ou até a um ponto de interacção com o exterior do equipamento. Assim, através da requisição ao controlador local da informação do estado do processo, pode alcançar-se de novo a sincronização do controlador com o equipamento. Este comportamento do sistema de controlo é de extrema importância para o seu desempenho e revela de certa forma a capacidade do sistema recuperar deste tipo de falhas.

Foi referido ainda que a interacção entre o controlador e o equipamento (controlador local) se deve processar através do protocolo MMS. Este tornou-se um protocolo aceite pelos diversos fabricantes de equipamentos industriais, resolvendo o problema de interoperabilidade das aplicações provocadas pelos diversos protocolos proprietários apresentados pelos diversos fabricantes de equipamentos. A partir do seu principal objecto, o VMD, é possível modelizar e mapear as diversas funcionalidades do equipamento, tornando-as facilmente acessíveis.

A necessidade de realimentar o bloco de controlo (coordenador e executor) com a informação proveniente do equipamento é vital ao seu correcto funcionamento, e levou à especificação do módulo monitor. Este adquire a informação enviada do equipamento, analisa-a e envia-a às entidades que dela necessitam. A existência desta informação permite a implementação local de estratégias de controlo de qualidade ao item e de manutenção preventiva. Estas estratégias aumentam consideravelmente o desempenho do equipamento e consequentemente de todo o sistema de produção. A implementação destas estratégias está de certa forma simplificada devido à autonomia do controlador.

A informação recolhida do equipamento é ainda do interesse do sistema de supervisão. Desta forma foi considerada a necessidade da existência de um fornecedor de serviços para interfaces HM. Este fornece variáveis requisitadas pelos diversos sistemas de interface que contratem esses serviços.

Concluindo, a estrutura modular e a autonomia apresentada pelo controlador, favorece a sua integração na arquitectura de controlo, realçando a suas características de modificabilidade e

extensibilidade, e consequentemente possibilitando a implementação de estratégias específicas a um dado equipamento.

Parte IV

Conclusão e Perspectivas de Desenvolvimento

Conclusão e Perspectivas de Desenvolvimento

A competitividade das empresas tem sido posta à prova pela modificação dos seus mercados tradicionais. Estas alterações são o reflexo das profundas mudanças que se têm sentido, nomeadamente ao nível social, político e tecnológico. Um dos factores que contribuem para estas alterações foi o esbatimento de barreiras entre diferentes países proporcionado pelo estabelecimento de acordos e comunidades com fortes laços económicos ou comerciais. Paralelamente, assistiu-se a mudanças ao nível de hábitos de consumo, muitos dos quais criados por influência de poderosos meios de comunicação. Desta forma, vão surgindo necessidades de adaptação a novas realidades, que implicitamente requerem da empresa um esforço complementar no sentido de responder às novas exigências dos mercados.

Assim, a empresa necessita de reestruturação, nomeadamente do seu aparelho produtivo. Para tal, necessita de um sistema de produção flexível, que lhe permita reagir à mudança. Uma das possibilidades de satisfazer estes requisitos, é recorrer aos denominados sistemas flexíveis de fabrico. A opção por estes sistemas deve fazer parte de um planeamento estratégico a longo prazo por parte da empresa. Tal facto deve-se ao avultado investimento que a sua implementação, ou futuras alterações, implicam. Assim torna-se obrigatória a correcta definição de objectivos de forma que não seja posta em causa a vitalidade da empresa.

A este facto não fica alheia a componente de controlo exigida nos sistemas flexíveis de fabrico. Esta componente é muitas das vezes o principal obstáculo à mudança da sua estrutura,

não permitindo que o sistema também ele se adapte à mudança, não só pela adaptação de novos equipamentos, como também pela necessidade de evolução da estrutura do sistema de fabrico. Este facto deixa em aberto a necessidade de estudo das arquitecturas de controlo.

Sendo assim, o problema de controlo tem sido equacionado procurando libertar os sistemas flexíveis de fabrico de dependências estruturais impostas pela sua arquitectura de controlo. Para tal, tem beneficiado dos desenvolvimentos noutros ramos, tais como nos sistemas de informação, e nomeadamente na área dos sistemas distribuídos. A normalização de soluções que permitam a comunicação entre diferentes equipamentos, vem de encontro às necessidades de transferência de informação em ambiente industrial. Este, mais do que outros, é caracterizado pela elevada heterogeneidade dos equipamentos existentes. Assim, torna-se possível integrá-los e flexibilizar a sua utilização.

Os contributos referidos permitem que soluções convencionais de controlo da produção, propriedade dos diversos fornecedores de solução de automação, evoluem de acordo com novos métodos. A constante tendência para a distribuição de competências e autonomia dos diversos intervenientes no processo de fabrico, veio alargar o leque de opções de controlo. Estas podem ser tipificadas em:

- **Controlo centralizado;**
- **Controlo hierárquico;**
- **Controlo hierárquico modificado;**
- **Controlo heterárquico.**

Tais arquitecturas têm evoluído do controlo centralizado para o heterárquico. A primeira baseia-se na centralização das decisões e representa a mais antiga das quatro arquitecturas. A heterárquica é a mais recente, sendo o culminar do processo de desenvolvimento que apresenta nos seus estágios o controlo hierárquico e o hierárquico modificado. A referida arquitectura baseia-se na distribuição do problema de controlo pelos diversos agentes intervenientes no processo, fundamentando-se em teorias utilizadas na área dos sistemas distribuídos.

Neste contexto foi apresentada uma arquitectura de controlo para uma configuração celular. Esta incidiu particularmente na definição de uma estrutura capaz, quer de reagir a variações no processo, quer de sofrer alterações na sua estrutura.

No estudo da sua envolvente foram efectuadas diversas análises.

A análise às diferentes arquitecturas, referidas neste trabalho, permitiu constatar que as características diferenciadoras que estas apresentam, lhes permite adaptar de forma diferente consoante os cenários que se lhe deparem.

Em termos funcionais a centralização de determinadas funções, como escalonamento, proporciona soluções mais optimizadas, acarretando um aumento da eficiência na utilização dos recursos. No entanto, o controlo centralizado perde muita desta eficácia se o nível de perturbações no sistema não for reduzido. Nestes casos a estrutura heterárquica revela-se mais eficiente. O melhor desempenho da estrutura heterárquica deve-se à simplificação do processo de escalonamento, que desta forma pode responder mais adequadamente às frequentes variações nas condições do sistema. Contudo, esta simplificação implica uma diminuição da eficiência dos planos traçados.

Em termos estruturais constatou-se que o aumento da autonomia dos controladores simplifica não só o desenvolvimento de uma estrutura de controlo, mas também possíveis alterações na sua estrutura.

O sistema de controlo abrange vários níveis da estrutura da empresa. A interacção que se estabelece entre os diferentes níveis hierárquicos define, de certa forma, as características da própria arquitectura de controlo. A transacção das tarefas entre o nível oficina e célula pode ocorrer de forma diversa, dependendo de certo modo das filosofias de controlo aplicado. Assim, esta interacção tem implicações na capacidade funcional do controlador de célula.

Com base nestas considerações, a arquitectura apresentada evidencia um funcionamento híbrido, podendo posicionar-se entre a arquitectura hierárquica modificada e a heterárquica. Esta opção é ainda baseada na necessidade de conciliar factores importantes como são a eficiente utilização dos recursos e a simplificação de possíveis alterações na sua estrutura. Deste modo, o controlador de célula poderá operar num ambiente onde o nível oficina transaccione as tarefas com as células de fabrico através diferentes mecanismos. Assim, pode ser implementada quer numa filosofia hierárquica, quer heterárquica, ou mesmo numa solução que preveja os dois funcionamentos. Este último tipo de desempenho foi especificado no presente trabalho.

A possibilidade do controlador de célula comportar diferentes tipos de interacção (indicador de modificabilidade da estrutura de controlo) e aliado à necessidade de evidenciar características que também lhe permitam alterar a constituição da sua estrutura (extensibilidade), levam a arquitectura a recorrer a uma configuração modular, e com um grau elevado de autonomia entre os seus elementos constituintes.

Assim, a arquitectura foi definida em torno de dois módulos principais: módulo de gestão e módulo de controlo.

O módulo de gestão, é responsável pela administração da célula, ou seja, gere a associação de controladores que a constituem, transacciona as suas capacidades com o nível oficina e deve ainda estabelecer escalonamentos das diversas operações para os controladores. Este módulo, devido à sua posição na arquitectura, deve actuar como uma interface entre o nível oficina e os

controladores que constituem a célula. Deste modo, o nível oficina atribui tarefas que devem ser executadas pelos equipamentos e estas são decompostas em operações que são enviadas aos seus controladores pelo gestor, processando-se esta operação de forma transparente para o nível oficina.

Optou-se pela especificação de um mecanismo de registo no gestor, através do qual se torna possível aos controladores associarem-se ao gestor. Esta associação entre controladores e gestor constitui o controlador de célula. O referido mecanismo permite estabelecer uma ligação fraca entre as duas entidades, realçando as características de expansibilidade da arquitectura. Neste caso a adição de um novo equipamento à estrutura de controlo processa-se através do seu registo, pelo qual são transferidos para o gestor os seus dados relevantes.

Em termos de interacção com o nível oficina, optou-se pela especificação de um módulo de gestão de recursos, o qual deve transaccionar a capacidade dos controladores que lhe estão associados. O resultado desta transacção deve ser transformada em planos (escalonamentos) das operações que serão enviados aos respectivos controladores.

As diferentes interacções são efectuadas por meio de mensagens trocadas entre os intervenientes. Desta forma, entre o gestor e o nível oficina estabeleceu-se um conjunto de mensagens baseadas no Contract Net Protocol, quer na sua vertente de licitação (*bid*), quer através de atribuição de tarefas pelo sistema de contrato directo (*directed contracts*). A interacção com os controladores processa-se por um conjunto de mensagens, que correspondem às classes de serviços de: atribuição de operações aos controladores, gestão da associação e acompanhamento do processo pelo gestor.

O módulo de controlo, desempenha a função de controlo no interior da célula sendo constituído pelo conjunto de controladores que se associam ao gestor. Estes possuem um considerável grau de autonomia, e são responsáveis por coordenar entre si as operações que ocorrem na célula. O controlador está incumbido de organizar a informação estabelecendo a cadeia de produção com os restantes controladores que participam no processo de fabrico, e por fim, enviar comandos de execução ao equipamento que controla. Para desempenhar estas tarefas, optou-se pela divisão do controlador em diferentes módulos de forma a ultrapassar as diferenças de acção de controlo requeridas.

O coordenador

Este módulo foi especificado para desempenhar a função de organizador das acções do equipamento na célula. É o responsável pelo controlo ao nível superior. Está incumbido de reunir a informação necessária à execução das operações no seu equipamento, que lhe foram atribuídas pelo gestor. É também responsável por preparar os planos de acção para o executor e coordenar a acção do seu equipamento na organização celular. Para tal necessita de estabelecer ligações com

as entidades com que interage. Ao nível de interacção com o gestor, utiliza o mecanismo (registo) e o conjunto de mensagens referidas na abordagem ao módulo gestor.

Entre as diferentes entidades homólogas foi estabelecido um conjunto de mensagens, que permitem a coordenação do processo entre equipamentos. Este sistema confere um elevado grau de autonomia dos controladores, e conjuntamente com o mecanismo de registo, simplificam de forma significativa a alteração da estrutura do controlador de célula (extensibilidade da arquitectura).

Para o nível inferior são enviadas um conjunto de mensagens, que correspondem aos diversos procedimentos que o executor deve efectuar para a realização das operações.

As perturbações ao normal funcionamento da estrutura de controlo devem ser evitadas, ou em caso da sua ocorrência, devem ser encetadas acções de recuperação.

Com o objectivo de evitar situações de bloqueio dos equipamentos, que ocorrem com maior frequência em sistemas de elevada automatização, foi especificado que o coordenador só deverá enviar procedimentos de realização de operações para o executor, se estiverem reunidas todas as condições, em termos de cadeia de produção, ou seja, se o próximo equipamento estiver apto prosseguir essa operação. Desta forma, o coordenador do próximo equipamento na cadeia de produção, só aceita o pedido de realização de uma operação se poder comportar no seu equipamento ou buffer auxiliar, o item a trabalhar. Neste mecanismo, o controlador só emite ordens de realização se tiver a garantia da continuação do processo pelo equipamento que lhe sucede na cadeia de produção. Analogamente, o controlador referido só aceita a reserva do seu equipamento no caso de possuir disponibilidade de recursos para executar a operação. Este mecanismo funciona como um sistema de auto-regulação evitando que um equipamento produza mais do que o sistema pode comportar, e simultaneamente, previne situações de bloqueio (*deadlocks*) graves num sistema de fabrico.

Em termos de recuperação de falhas num controlador, foi especificado que, devem ser os próprios controladores a vigiarem-se entre si. Assim, a detecção de uma falha num controlador, deve ser relatada ao gestor pelo controlador que a detectou. Esta forma de funcionamento deve-se à autonomia dos controladores.

O executor

Este módulo foi especificado para actuar como interface entre o coordenador e controlador local do equipamento, recebendo os procedimentos a executar indicados pelo coordenador e transformando-os em acções no equipamento.

Para executar esta tarefa, especificou-se um conjunto de mensagens enviadas do coordenador para o executor. Estas representam os diversos procedimentos a efectuar pelo executor tais como:

setup, carga de equipamento, transformação, teste e descarga de equipamento. Cada procedimento possui a sua própria máquina de estados, que os decompõem em acções básicas no equipamento.

Em termos de interacção com o controlador local do equipamento, foi indicada a utilização do MMS como protocolo de comunicação. A sua escolha deve-se ao facto de este se ter tornado um standard aceite pelos diversos fabricantes de equipamentos industriais. Desta forma, resolve-se muitos dos problemas de interoperabilidade causados pela proliferação de protocolos, propriedade de diferentes fabricantes. A utilização do MMS vem também simplificar o acesso às diversas funcionalidades que são modelizadas em termos de objectos no VMD e que representam o equipamento para o seu exterior.

Relativamente à recuperação de falhas ao nível do executor, especificou-se dois tipos distintos: recuperações devido a falhas no processo e devido a falhas no controlador.

As primeiras correspondem a problemas ocorridos durante o processo de transformação. Para recuperar deste tipo de falhas foi indicado a utilização de pontos de sincronização. Estes correspondem a pontos nos quais o processo pode ser interrompido ou reatado, sem que daí advenham riscos para equipamentos e materiais.

As segundas, correspondem a uma falha no controlador. Por exemplo, o sistema foi momentaneamente abaixo. A recuperação deste tipo de falhas passa pela concessão ao controlador local do equipamento da primazia do controlo do processo, permitindo que este prossiga até ao seu final ou até um ponto de interacção com o exterior. Desta forma, o executor assume unicamente tarefas de arranque, acompanhamento da sequência do processo e eventualmente a sua paragem. Especificou-se para tal um comando que requer o envio da informação do estado do processo, que permite que o executor sincronize a sua máquina de estados com o referido processo.

O monitor

Este módulo foi especificado para proceder à realimentação do bloco de controlo (coordenador e executor) com informação necessária ao correcto processo de decisão. É também responsável pelo fornecimento das variáveis monitorizáveis ao sistema fornecedor de serviços para interfaces HM, bem como de módulos de controlo específicos que poderão ser implementados no controlador. O controlo de qualidade e manutenção preventiva são exemplos da sua utilização.

Conclusão

A arquitectura apresentada baseia-se numa estrutura modular, com elevado grau de autonomia dos seus elementos. Este aspecto permite realçar características importantes numa arquitectura de controlo, como são:

- **Extensibilidade;**
- **Modificabilidade;**
- **Reconfigurabilidade;**
- **Tolerância a falhas.**

Pretende-se desta forma contribuir para a diminuição dos riscos inerentes à opção por um sistema de capital intensivo, que requer elevado nível de especialização (tanto na sua implementação, como na sua eventual alteração), como é o caso dos sistemas flexíveis de fabrico.

A finalizar o presente capítulo, refira-se ainda as perspectivas de desenvolvimento, quer do trabalho apresentado, quer do próprio controlo dos sistemas flexíveis de fabrico.

Em termos de possíveis desenvolvimentos, o presente trabalho deve evoluir no sentido do estudo da sua implementação. Assim, deverão ser analisadas as vertentes de implementação, como sejam a escolha:

- Dos sistemas e tecnologias de suporte: sistemas operativos, redes e protocolos de comunicação, repositórios de dados (bases de dados), etc;
- Das regras de gestão e algoritmos para aplicações industriais.

Deve ainda ser desenvolvido o estudo da interacção entre células, que não foi aprofundado neste trabalho.

Em termos de perspectivas de evolução do controlo dos sistemas de fabrico, assiste-se a uma tendência acentuada para a distribuição das tarefas. Para tal, tem tido um contributo importante o desenvolvimento na área dos sistemas distribuídos e de inteligência artificial. As novas metodologias recorrem ao conceito de agentes e definição de sistemas de fabrico holónicos cujo funcionamento se baseia na cooperação e autonomia dos elementos constituintes da sua arquitectura.

O sistema holónico busca na observação do comportamento de sistemas complexos, como por exemplo o comportamento das pessoas em sociedade, os fundamentos das suas teorias [McFarlane, 95]. Na actualidade começa aparecer estudos consideram este paradigma para os

sistemas de fabrico. Esta evolução, como foi referida baseia-se nas necessidades dos actuais sistemas de fabrico e no desenvolvimento acentuado de tecnologias de suporte.

Referências

- [Albus] James S. Albus,
"RCS: A Reference Model Architecture for Intelligent Machine Systems",
Robot Systems Division,
Manufacturing Engineering Laboratory,
National Institute of Standards and Technology,
Draft.
- [Ainger, 94] Felix Schmid, Stephen Evans, Andrew W. S. Ainger, Robert J.
Grieve,
"Computer Integrated Production System and Organisations",
Spring-Verlag, 1994.
- [Araujo, 95] E. G. Araujo, G. A. Dakin. M. Huber, R. A. Grupen,
*"Hierarchical Scheduling of Robotic Assembly Operations in a Flexible
Manufacturing System"*,
5th International conference FIAM '95.
- [Banaszak, 90] Zbigniew A. Banaszak and Bruce H. Krogh,
*"Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems With
Concurrently Competing Process Flows"*,
IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 6, N° 6, December
1990.
- [Bauer, 91] Bauer, A., Bowden, R., Browne, J., Duggan, J. and Lyons, G.,
Shop Floor Control Systems - From design to implementation
Chapman & Hall, 1991.
- [Black, 91] JT. Black,
"The Design of the Factory With a Future",
McGraw-Hill, 1991.

- [Bongaerts, 95] Luc Bongaerts, Paul Valckenaers, Hendrik Van Brussel, Jo Wyls,
"Schedule Execution for a Holonic Shop Floor Control System",
ASI '95 (Advanced Summer Institute),
ESPRIT - BR N° 9251,
Network of Excellence in Intelligent Control and Integrated
Manufacturing Systems,
June 1995.
- [CCE-CNMA, 94] CCE-CNMA Consortium,
*"Introduction to the CIME Computing Environment - A Platform for the
Creation and Execution of Industrial Applications"*,
ESPRIT Project CCE-CNMA 7096,
1994.
- [CNMA, 89] CNMA
"CNMA Implementation Guide - volume 2 A Profile"
ESPRIT Project 2617,
September 1989.
- [Couturier, 92] J-F. Couturier, F. Lepage, J. Richard, E. Rondeu,
*"Information system and distributed control for a control loop cell
architecture"*,
Proceedings of the 1992 IEEE, International Conference on Robotics and
Automation.
- [Diits] D. M. Diits, N. P. Boyd, H. H. Whorms,
*"The Evolution Of control Architectures For Automated Manufacturing
Systems"*,
Journal of Manufacturing Systems, Vol 10, N° 1, pp. 79-93.
- [Groover, 87] Groover, M. P.,
Automation, Production Systems, and Computer Integrated
Manufacturing
Prentice-Hall International, Inc., 1987.
- [l'Anson, 93] Colin l'Anson, Adrian Pell,
"Understanding CSI Applications",
Prentice Hall 1993.

- [McFarlane, 95] Duncan C. McFarlane,
"Holonc Manufacturing Systems in Continuos Processing: Concepts and Control Requirements",
ASI '95 (Advanced Summer Institute),
ESPRIT - BR N° 9251,
Network of Excellence in Intelligent Control and Integrated
Manufacturing Systems,
June 1995.
- [Nussbaumer, 91] Henri Nussbaumer,
"Téléinformatique IV"
Collection Informatique 1991.
- [Pimentel, 90] Juan R. Pimentel,
"Communication Networks for Manufacturing",
Prentice-Hall International Editions 1990.
- [Ramos, 95] Carlos Ramos,
"Specifying an Architecture and a Negotiation Protocol for Distributed Manufacturing Systems",
ASI '95 (Advanced Summer Institute),
ESPRIT - BR N° 9251,
Network of Excellence in Intelligent Control and Integrated
Manufacturing Systems,
June 1995.
- [Rembold, 93] Rembold, U., Nnaji, B. O., Storr, A.,
Computer Integrated Manufacturing and Engineering,
Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [Renaud, 93] Paul E. Renaud,
"Introduction to Client/Server Systems",
Jonh Wiley & Sons, Inc, 1993.
- [Senchi, 91] Senchi, M. K., Barkmeyer, E., Luce, M., Ray, S., Wallace, E. K., and
Wallace, S.,
"Manufacturing Systems Integration - Initial Architecture Document",
United Sates Department of Commerce, NIST (National Institute for
Standards and Technology), NISTIR 4682,
September 1991.

- [Senehi, 92] Senehi, M. K., Wallace, S., Luce, M. E.,
"Manufacturing Systems Integration - An Architecture for Manufacturing Systems Integration",
United States Department of Commerce, NIST (National Institute for Standards and Technology), in Proceedings of the Manufacturing International Conference, Dallas, TX,
1992.
- [Smith, 80] Reid, G. Smith,
"The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver",
IEEE Transactions on Computers, Vol. C-29, N° 12, December 1980.
- [Upton, 92] Upton, D. M.,
"A Flexible Structure for Computer-Controlled Manufacturing Systems",
Manufacturing Review, Vol. 5 (1), pág. 58-74,
1992.
- [Viswanadham, 90] N. Viswanadham, Y. Narahari, and Timothy L. Johnson
"Deadlock Prevention and Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems Using Petri Net Models",
IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 6, N° 6, December 1990.
- [Wysk, 91] R. A. Wysk, N. S. Yang, and S. Joshi,
"Detection of Deadlocks in Flexible Manufacturing Cells",
IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 7, N° 6, December 1991.
- [Zwegers, 95] A. J. R. Zwegers, S. G. Fang, and H. J. Pels,
"Evaluation of Architecture Design with CIMOSA",
ASI '95 (Advanced Summer Institute),
ESPRIT - BR N° 9251,
Network of Excellence in Intelligent Control and Integrated Manufacturing Systems,
June 1995.





FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000002918

681.5(043)
CARJ/ESP