

Nuno Alexandre Pinto da Silva

Sistemas Holónicos de Produção

Especificação e Desenvolvimento

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE DO PORTO**

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Porto, Setembro de 1998

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Sistemas Holónicos de Produção

Especificação e Desenvolvimento

Nuno Alexandre Pinto da Silva

Assistente no Departamento de Engenharia Informática do
Instituto Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do
Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Área de especialização em Informática Industrial)

Dissertação realizada sob a supervisão da

Professora Doutora Zita Maria Almeida Vale

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

Porto, Setembro de 1998

AGRADECIMENTOS

Gostava de começar por agradecer à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, ao Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores e em especial ao conjunto de pessoas que mais directamente lida com os assuntos do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores, o Professor Raul Vidal, a Cristina Bastos e a Fátima, pela simpatia e extrema boa vontade com que sempre tratam cada caso.

Ao Centro de CIM do ISEP-IPP, na pessoa do Professor Carlos Ramos, que me facultou os meios informáticos e logísticos para a realização deste trabalho, bem como o financiamento para a minha participação em cursos e conferências no estrangeiro.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto pelos meios logísticos disponibilizados e por me apoiado na candidatura a uma bolsa PRODEP para a realização deste trabalho.

Ao PRODEP que financiou as propinas do curso bem como a minha substituição temporária como docente no Departamento de Engenharia Informática do ISEP.

Aos meus orientadores, Professora Zita Vale e Professor Carlos Ramos, pela confiança que em mim depositaram, pela dedicação demonstrada e por todo o trabalho que tiveram ao longo destes dois anos.

Aos meus colegas no Departamento de Engenharia Informática do ISEP, António Costa, Paulo Ferreira, Alexandre Bragança pelos ensinamentos e pela paciência com que foram realizando as tarefas que me eram destinadas.

Ao João Rocha, que para além de ser o professor que mais influência teve nos meus estudos e vida profissional, é um amigo que sempre me ajudou a olhar para os problemas da forma mais simples e racional.

Ao meus colegas no Centro de CIM do ISEP-IPP, por me aturarem dia após dia. Ao José Avelino Marinho (de Jasmelim), Luíz Faria, Miguel Pinho, José Tavares, e em especial ao Paulo Sousa pela dedicação e ajuda que me prestou durante o trabalho.

E claro aos outros três do bando dos quatro: Ana Moura, António (Jorge Santos) Pereira e Paulo Matos (por ordem alfabética). Pelos bons e maus momentos que passamos, criticando e resmungando com tudo e com todos. Depois de todo este trabalho posso estar descansado que os pedais da bicicleta serão ao contrário e conseguiremos dar umas voltas como qualquer pessoa normal.

Aos meus pais, por desde cedo me terem apoiado nas minhas convicções e opiniões próprias e me terem inculcado o espírito de nunca desistir. Ao Pedro e à Paula Alexandra que faça eu o que fizer tenho a certeza estarão sempre a postos para me apoiar.

Ao resto da minha família, em especial às minhas tias, Rosa e Emília por toda a ajuda e dedicação que demonstram.

À Fatinha, à Joana e à Mariana por todo o tempo e dedicação que não lhes dediquei. Espero que os resultados venham a valer o esforço.

Porto, Setembro de 1998

RESUMO

O modo de produzir e comercializar tem evoluído drasticamente. Passou-se em poucos anos duma fase dominada pela oferta em que tudo o que era produzido era consumido, para uma fase dominada pela procura em que o cliente interfere directamente na especificação das características do produto. Para responder eficazmente às cada vez maiores exigências do cliente, a empresa é levada a abandonar a sua organização e sistemas centralizados, fixos e optimizados e optar por organizações e sistemas mais flexíveis, dinâmicos e distribuídos, recorrendo cada vez mais a fornecimentos e parcerias externas.

Estas alterações sociais e económicas têm de ser acompanhadas por alterações tecnológicas, pois os sistemas tecnológicos já não respondem eficazmente às solicitações das organizações actuais.

Nesse sentido propõe-se o conceito de Sistemas Holónicos de Produção, uma abordagem organizacional-tecnológica recente, derivada da obra sociológica de Arthur Koestler sobre sociedades humanas e biológicas. Justifica-se a sua validade comparando o conceito com outras abordagens recentes como a Fábrica Fractal e os Sistemas Biónicos de Produção. Apresenta-se e descreve-se o conceito de Sistemas Multi-Agente cujas propriedades se comprava acompanham as necessidades tecnológicas dos Sistemas Holónicos de Produção.

No âmbito deste trabalho desenvolveu-se um sistema de escalonamento da produção que servirá de ensaio e teste, e onde foram já aplicadas algumas das propriedades físicas e organizacionais do conceito holónico. Complementarmente foi necessário desenvolver técnicas de gestão de sistemas baseados neste conceito, incluindo a adaptação dum algoritmo de escalonamento desenvolvido inicialmente para sistemas centralizados tradicionais.

ABSTRACT

The way of producing and commercialise has evolved in a drastic way. In a few years there was a change from a phase dominated by the offer in which all that was produced was consumed, to a phase dominated by the search in which the client interferes directly in the product's specification. To answer efficiently to the growing demands of the client, the enterprise is forced to leave its organisation and centralised systems, established and optimised systems and adopt for organisations and systems more flexible, dynamic and distributed, having access to even bigger supplies and external co-partnerships.

These social and economical changes must keep up with technological changes, because the technological systems no longer respond with effectiveness to the solicitations of the present organisations.

We suggest the concept of Holonic Manufacturing Systems, a recent organisational-technological approach, having origin in the sociological work of Arthur Koestler about Human and Biological societies. Its validity is justified by comparing the concept with other recent approaches such as the Fractal Factory and the Bionic Manufacturing Systems.

It is described the Multi-Agent systems' concept which properties we prove and keep up with the technological needs of the Holonic Systems of Production.

As a result of this work a manufacturing scheduling system was developed which will serve as a test and where were already employed some of the physical and organisational proprieties of this concept. As a complement it was necessary to develop and adapt management systems techniques based on this concept, including the adaptation of algorithmic of scheduling initially developed for the traditional centralised systems.

RESUMÉ

La façon de produire et commercialiser a évolué drastiquement. En peu d'années on a passé d'une phase dominée par l'offre on tout se qui été produit été consommé, à une phase dominée par la recherche dans laquelle le client intervient directement dans la spécification du produit. Pour reprendre efficacement aux exigences de plus en plus fréquents du client, l'entreprise est comencé à abandonner son organisation et systemes centraliseés, fixes et optimiseés, et doit opter par des organisations et systemes plus flexibles, dynamiques et répartis, et cherché chaque fois plus des approvisionnements et des partenaires externes.

Ces altérations sociales doivent être accompagnées par des altérations technologiques, une fois que les systemes technologiques ne répondent plus avec efficacité aux sollicitations des organisations actuelles.

Dans ce sens on propose le concept de Systemes Holonics de Production, un abordage organisationel-technologique récent, dériveé de l'oeuvre sociologique d'Arthur Koestler sur les sociétés humaines et biologiques. On justifie sa validité en confrontant le concept avec autres abordages plus récents comme l'Usine Fractal et les Systèmes Bioniques de Production. On présent et on décrit le concept de Systèmes Multi-Agent dans ses propriétés on confirme accompagnent les nécessités technologiques des Systèmes Holoniques de Production.

En ce qui concerne se travail on a développé un système d'échelon de la production qui servira d'essai et d'épreuve, et sur lequel on a déjà appliqué quelques unes des propriétés physiques et organisationnelles de ce concept.

En supliment il a été nécessaire de développer et d'adapter les tecniques de gestion des systèmes fondeés dans ce concept, en insérent é adaptation d'un logiciel d'échelon développé au début pour des systèmes centralisés traditionnels.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
RESUMÉ	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 MOTIVAÇÕES	5
2.1 AS TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO	6
2.1.1 Aumento da complexidade tecnológica dos produtos	8
2.1.2 Aumento da variedade do produto no tempo	9
2.1.3 Expansão das cadeias de fornecimento	9
2.1.4 Resumo sobre Tendências de Evolução	10
2.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO MODERNOS	10
2.2.1 Cadeia de Fornecimento	11
2.2.2 Conceitos Relacionados	12
2.2.3 Análise das definições	13
2.2.4 Cadeia de fornecimento Vs. Conceitos relacionados	13

2.2.5	Características	14
2.2.6	Definição	15
2.2.7	Resumo sobre Sistemas de Produção Modernos	15
2.3	DESAFIOS AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	16
2.3.1	Projecto	16
2.3.2	Operação	18
2.3.3	Requisitos tecnológicos	19
2.3.3.1	Distribuição e Descentralização	19
2.3.3.2	Comunicação	20
2.3.3.3	Gestão da informação	20
2.3.3.4	Flexibilidade e Reactividade	20
2.3.3.5	Coordenação de competências	21
2.3.3.6	Modularização	21
2.3.3.7	Sub-especificação	22
2.3.3.8	Modelação de entidades físicas em entidades lógicas	22
2.3.4	Resumo sobre os Desafios	23
2.4	CONCEITO DE CIM	23
2.4.1	Descrição	24
2.4.2	CIM: Características Vs. Requisitos	25
2.4.2.1	Distribuição e Descentralização	25
2.4.2.2	Comunicação	26
2.4.2.3	Gestão da informação	26
2.4.2.4	Flexibilidade e Reactividade	27
2.4.2.5	Coordenação de competências	27
2.4.2.6	Modularização	27
2.4.2.7	Sub-especificação	27
2.4.2.8	Modelação de entidades físicas em entidades lógicas	28
2.4.3	Conclusões sobre o conceito de CIM	28
2.5	CONCLUSÕES	28
CAPÍTULO 3 PROPOSTA		31
3.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO BASEADOS EM AGENTES	32
3.1.1	O que é um Agente?	33
3.1.1.1	Caracterização intuitiva	33
3.1.2	Sistema Multi-Agente	35
3.1.3	Caracterização de agentes	36
3.1.3.1	Características Conceptuais Vs. Operacionais	37
3.1.3.2	Organização interna	38
3.1.3.3	Actuação Reactiva Vs. Planeada	40
3.1.3.4	Caracterização social	41
3.1.3.4.1	Conversações	41
3.1.3.4.2	Coordenação	42
3.1.3.4.3	Cooperação	43
3.1.3.4.4	Ser Humano Vs. Agente	44

3.1.3.4.5	Tecnologias existentes	44
3.1.3.5	Caracterização racional	45
3.1.4	AMS: Características Vs. Requisitos	46
3.1.4.1	Distribuição e Descentralização	46
3.1.4.2	Comunicação	46
3.1.4.3	Gestão da informação	47
3.1.4.4	Flexibilidade e Reactividade	47
3.1.4.5	Coordenação de competências	48
3.1.4.6	Modularização	48
3.1.4.7	Sub-especificação	48
3.1.4.8	Modelação de entidades físicas em entidades lógicas	49
3.1.4.9	Conclusões acerca da aplicabilidade de AMS	49
3.1.5	Conclusões acerca de Sistemas Baseados em Agentes	50
3.2	SISTEMAS HOLÓNICOS DE PRODUÇÃO	50
3.2.1	Conceito holónico	51
3.2.1.1	Holon: o todo e a parte	52
3.2.1.2	Holarquia	53
3.2.1.3	Conclusões sobre conceito holónico	54
3.2.2	Abordagem tecnológica	55
3.2.2.1	Definições tecnológicas	55
3.2.2.2	Definições complementares	56
3.2.2.3	Controlo Hierárquico, Heterárquico e Holárquico	58
3.2.2.3.1	Controlo Hierárquico	59
3.2.2.3.2	Controlo Heterárquico	59
3.2.2.3.3	Controlo Holárquico	59
3.2.2.3.4	Conclusões sobre controlo em sistemas holónicos	60
3.2.2.4	Conclusões sobre a abordagem tecnológica	61
3.2.3	Outros Sistemas Hierárquicos Abertos	61
3.2.3.1	Sistemas de Produção Biónicos	61
3.2.3.1.1	Estrutura e Organização	62
3.2.3.1.2	Controlo e Coordenação	62
3.2.3.1.3	Abordagem tecnológica	63
3.2.3.1.4	Conclusões sobre BMS	64
3.2.3.2	Fábrica Fractal	65
3.2.3.2.1	Conceito de fractal	65
3.2.3.2.2	Abordagem tecnológica	66
3.2.3.2.3	Conclusões sobre Fábrica Fractal	67
3.2.3.3	HMS Vs. BMS Vs. Fábrica Fractal	68
3.3	HMS: CARACTERÍSTICAS VS. REQUISITOS	70
3.3.1	Distribuição e Descentralização	71
3.3.2	Comunicação	71
3.3.3	Gestão da informação	71
3.3.4	Flexibilidade e Reactividade	72

3.3.5	Coordenação de competências	72
3.3.6	Modularização	73
3.3.7	Sub-especificação	73
3.3.8	Modelação de entidades físicas em entidades lógicas	73
3.3.9	Conclusões acerca da aplicabilidade de HMS	74
3.4	HMS Vs. MAS	74
3.5	CONCLUSÕES	75
CAPÍTULO 4 CASO PRÁTICO		77
4.1	ARQUITECTURA DO SISTEMA	78
4.1.1	Descrição Genérica	78
4.1.2	Vista Informacional	80
4.1.2.1	Produto	81
4.1.2.2	Recurso	81
4.1.2.3	Tarefa	82
4.1.2.4	Planos e Operações	82
4.1.2.5	Inter-relações Informacionais	82
4.1.3	Vista Funcional	83
4.1.3.1	Produto	84
4.1.3.2	Recurso	84
4.1.3.3	Tarefa	85
4.2	INFRA-ESTRUTURAS	85
4.2.1	Segurança	85
4.2.2	Sistema de Comunicação	86
4.2.2.1	Troca de Mensagens	86
4.2.2.2	Sincronismo	87
4.2.2.2.1	Comunicação Síncrona	87
4.2.2.2.2	Comunicação Assíncrona	88
4.2.2.3	<i>Pooling</i> e Encaminhamento	88
4.2.2.3.1	<i>Pooling</i>	88
4.2.2.3.2	Encaminhamento	89
4.2.2.4	Linguagem de Comunicação	89
4.2.2.5	Serviço de Nomes	90
4.2.2.6	Serviço de Informações ou Directorias	90
4.2.3	Sistema de Informação	91
4.2.3.1	Representação	91
4.2.3.1.1	Representação procedimental	91
4.2.3.1.2	Representação declarativa	92
4.2.3.1.3	Representação reflexiva	92
4.2.3.2	Disponibilização de Informação	93
4.2.3.2.1	Ponto-a-Ponto	93
4.2.3.2.2	<i>Broadcast</i>	93
4.2.3.2.3	<i>Blackboard</i>	93
4.2.3.2.4	Linguagem de Requisição e Ontologias	94

4.2.3.2.5	Segurança	94
4.2.4	Conversações	95
4.2.4.1	Forma e Conteúdo	95
4.2.4.2	Controlo e Acompanhamento	96
4.2.4.2.1	Time-out	96
4.2.4.2.2	Informação	96
4.2.4.2.3	Sincronização	96
4.2.5	Infra-estrutura adoptada	97
4.2.5.1	Descrição Genérica	98
4.2.5.2	Sistema de Comunicação	98
4.2.5.2.1	Protocolo de Conexão	99
4.2.5.2.2	Router de Mensagens	99
4.2.5.2.3	Protocolo Privado	100
4.2.5.2.4	Protocolo de Aplicação	100
4.2.5.3	Funcionalidades e Capacidades	101
4.2.5.4	Sistema de Informação	101
4.2.5.5	Resumo do HFW	102
4.3	IMPLEMENTAÇÃO	103
4.3.1	Serviço de Identificação	104
4.3.1.1	Abordagem	105
4.3.1.2	Dinamismo	106
4.3.1.3	Coerência	109
4.3.1.4	Descentralização	110
4.3.1.4.1	Conversação HNSPRIV	112
4.3.1.4.2	Conversação HNS	114
4.3.1.4.3	Re-Identificação e Re-Registo	115
4.3.1.4.4	Gestão de conflitos	116
4.3.1.5	Segurança	117
4.3.1.5.1	Palavras chave	118
4.3.1.5.2	Autenticação Recíproca	119
4.3.1.5.3	Autenticação Secundária	121
4.3.1.6	Resumo sobre o Serviço de Identificação	122
4.3.2	Serviço de Informação	122
4.3.2.1	Abordagem	123
4.3.2.1.1	Requisitos do Sistema	123
4.3.2.1.2	Proposta	124
4.3.2.2	Implementação	126
4.3.2.2.1	Encaminhamento	126
4.3.2.2.2	Coerência	127
4.3.2.2.3	Tipo de Informação	127
4.3.2.2.4	Conversações	129
4.3.2.2.4.1	Publicação	130
4.3.2.2.4.2	Requisição e Disponibilização	130

4.3.2.2.4.3	Despublicação	132
4.3.2.3	Resumo sobre o Serviço de Informação	133
4.3.3	Escalonamento	134
4.3.3.1	Método Original	135
4.3.3.1.1	Fase de Influência Directa	136
4.3.3.1.2	Fase de Influência Inversa	136
4.3.3.1.3	Fase de Escolha	137
4.3.3.1.4	Algumas Considerações	138
4.3.3.1.5	Método Adaptado	138
4.3.3.2	Método proposto	139
4.3.3.2.1	Fase de Requisição	140
4.3.3.2.2	Fase de Influência Directa	140
4.3.3.2.3	Fase de Influência Inversa	142
4.3.3.2.4	Fase de Escolha	143
4.3.3.3	Optimizações	143
4.3.3.3.1	Classificação dos Intervalos	143
4.3.3.3.2	Simplificação de Intervalos	146
4.3.3.4	Adaptação do Método a Planos com Operações Paralelas	147
4.3.3.4.1	Cálculo dos Intervalos	147
4.3.3.4.2	Classificação de Intervalos	148
4.3.3.5	Gestão de Conflitos e Prioridades	148
4.3.3.6	Conversações	149
4.3.3.6.1	Fase de Requisição	149
4.3.3.6.2	Fase de Influência Directa	150
4.3.3.6.3	Fase de Influência Inversa	151
4.3.3.6.4	Fase de Escolha	151
4.3.3.6.5	Gestão de <i>Time-out's</i>	152
4.3.3.6.6	Assincronismo nas Conversações	153
4.3.3.6.7	Resumo sobre Conversações	153
4.3.4	Conclusões sobre Escalonamento	153
4.4	CONCLUSÕES	154
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES		157
ANEXO I TERMOS E EXPRESSÕES		161
I.1	Agilidade e Flexibilidade	161
I.1.1	Agilidade	161
I.1.2	Flexibilidade	162
I.1.3	Agilidade Vs. Flexibilidade	162
I.2	Autonomia	162
I.3	Arquitectura	163
I.3.1	Arquitectura genérica	163
I.3.3	Vistas	165
I.3.4	Arquitectura (Particular)	165

I.4	Ciclo de vida	165
I.5	Conhecimento	166
I.6	Coordenação e Cooperação	166
I.6.1	Coordenação	166
I.6.2	Cooperação	167
I.6.3	Coordenação Vs. Cooperação	168
I.6.4	Coordenação Vs. Controlo	168
I.7	Distribuição e Descentralização	169
I.7.1	Distribuição e Agrupamento	169
I.7.2	Descentralização e Centralização	169
I.7.3	Distribuição Vs. Descentralização	170
I.7.4	Hierarquia e Heterarquia	171
I.8	Integração	172
I.9	Framework	172
ANEXO II INFRA-ESTRUTURAS		173
REFERÊNCIAS		177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Organização horizontal de Sistemas Multi-Agente	38
Figura 2 - Organização vertical de Sistemas Multi-Agente	39
Figura 3 - Organização mista de Sistemas Multi-Agente	39
Figura 4 - Actuação do sistema: Reacção Vs. Planeamento	40
Figura 5 - Sistema holónico: Coordenação lateral através de cooperação	56
Figura 6 - Sistema holónico: Coordenação vertical através de controlo	57
Figura 7 - Vários tipos de estrutura de sistema e controlo	58
Figura 8 – Estruturas biológicas Vs. produtivas [Tharumarajah, 96]	63
Figura 9 - Estrutura do modelon [Tharumarajah, 96]	64
Figura 10 - Auto-semelhança e Auto-organização dos fractais [Tharumarajah, 96]	66
Figura 11 – Estrutura do sistema de produção	79
Figura 12 – Vista Informacional da Arquitectura	80
Figura 13 - Vista Funcional da Arquitectura	84
Figura 14 - Sincronismo e Assincronismo na comunicação	87
Figura 15 - Sincronismo na conversação	97
Figura 16 - Estrutura interna esquemática do HFW: Protocolos e BD	100
Figura 17 - HFW: Várias instanciações do mesmo tipo de protocolo	100
Figura 18 – Utilização de endereços estáticos	104
Figura 19 - Funcionamento básico do serviço de informações	106
Figura 20 – Algoritmo de conexão da conversação HNS no holon HNS	108
Figura 21 – Exemplo de conversações para registo com endereços dinâmicos	109
Figura 22 - Proposta da conversação HNS com conexão premanente	110
Figura 23 – Algoritmo de registo no HNS requisitado	113

Figura 24 – Exemplo de conversações na conversação HNSPRIV	114
Figura 25 – Algoritmo de conexão da conversação HNS no HNS requisitado	115
Figura 26 – Exemplo de HNS inválido: uso ilícito de palavras chave	117
Figura 27 - Representação esquemática de domínio	118
Figura 28 – Sequência de mensagens no registo dum holon em HNS	120
Figura 29 – Sequência de mensagens no registo dum HNS em HNS	121
Figura 30 – Exemplo de conversação de autenticação secundária	121
Figura 31 – Funcionamento integrado do sistema de identificação e informação	125
Figura 32 – Protocolos e conversações dos serviços de identificação e informação	126
Figura 33 – Estrutura modular do holon: alterabilidade da informação	128
Figura 34 – Base de Dados Genérica e Dinâmica	129
Figura 35 - Sequência de mensagens de publicação no Blackboard	130
Figura 36 - Sequência de mensagens de requisição de informação	131
Figura 37 - Sequência de mensagens de despublicação do Blackboard	132
Figura 38 – Relações de precedência e paralelismo entre operações	134
Figura 39 – Fase de influência directa	136
Figura 40 – Não correspondência de intervalos de tempo	137
Figura 41 – Fase de influência inversa	137
Figura 42 – Fase de Influência Directa: mensagens transmitidas	139
Figura 43 – Fase influência inversa: mensagens transmitidas	139
Figura 44 – Número de mensagens transmitidas	140
Figura 45 – Número de mensagens transmitidas	141
Figura 46 – Fase de Influência Directa: agrupamento de intervalos	142
Figura 47 – Fase de Influência Inversa: anulação de intervalos	142
Figura 48 – Organização lógica dos intervalos na Tarefa	143
Figura 49 – Propagação de custos na sequência de intervalos	145
Figura 50 – Escolha da sequência de intervalos baseada em custos	145
Figura 51 – Fase de sequencialização	146
Figura 52 – Escalonamento de operações paralelas	147
Figura 53 – Propagação de custos em planos com operações paralelas	148
Figura 54 – Representação genérica de conversações no escalonamento	149
Figura 55 – Conversações entre holons na fase de requisição	150
Figura 56 – Time-out's iguais e simultâneos	152
Figura 57 – Time-out's progressivamente maiores	153
Figura 58 - Arquitectura CIMOSA ou Cubo CIMOSA [Zelm, 95]	164
Figura 59 - Exemplo de ciclo de vida duma entidade ou objecto	166
Figura 60 – Representação esquemática de sistema agrupado e distribuído	169
Figura 61 – Sistema simultaneamente centralizado e descentralizado	170

Figura 62 - Agrupamento, Distribuição e Descentralização	170
Figura 63 - Sistema Distribuído, Hierárquico, Centralizado e Descentralizado	171

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – HMS Vs. BMS Vs. Fábrica Fractal: Estrutura	68
Tabela 2 – HMS Vs. BMS Vs. Fábrica Fractal: Comportamentos	69
Tabela 3 - Tabela de Autenticação	107
Tabela 4 – Tabela de Domínios do holon	118
Tabela 5 – Resumo das características das infra-estruturas de desenvolvimento	175

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

"Um professor bem sucedido já não é um mecanismo de alta pressão que debita conhecimento para receptáculos passivos... É um estudante sénior ansioso por ajudar os seus juniores." - William Osler

"A definição do problema, em vez da sua solução, será no futuro o recurso escasso." - Esther Dyson

O modo de produzir e comercializar altera-se constantemente. Desde há várias décadas que a forma de abordar o mercado tem evoluído drasticamente. Se até aos anos 50 tudo o que era produzido era consumido, já na década seguinte se passou para uma fase em que o preço afectava directamente a escolha do consumidor. A esta condição, juntaram-se nos anos 70 exigências de qualidade, e nos anos 80, com a aceleração das economias, o tempo adquiriu fundamental importância e consequentemente os tempos e prazos de entrega tornaram-se um factor de comparação na prestação do serviço ou produto. A estas condições e ambiente competitivo, juntavam-se constantes alterações e adaptações tecnológicas, tornando os produtos mais complexos e aumentando o conjunto de tecnologias envolvidas no seu fabrico. Torna-se em muitos casos incomportável que a empresa domine tantas e tão variadas tecnologias, surgindo naturalmente conceitos de gestão como *lean production* e *core business*. Estes conceitos defendem o princípio de que a empresa se deve esforçar por produzir bem e sem

desperdícios quer em termos de qualidade quer em termos de tarefas secundárias e marginais. A empresa deve concentrar os seus esforços no objectivo fundamental de negócio, subcontratando outras empresas para o fornecimento de parte ou totalidade de serviços e componentes, mantendo um maior ou menor controlo do processo ou da qualidade do produto.

Mas a evolução não se fica por aqui e a economia continua a acelerar. Os menores tempos de lançamento e do ciclo de vida do produto, a maior complexidade e diversidade de modelos são novas ou actualizadas formas de competitividade numa economia cada vez mais aberta e atenta a necessidades, pedidos e exigências dos consumidores. Surgem assim novas, momentâneas e por vezes pequenas oportunidades de negócio que não podem nem devem ser ignoradas ou desaproveitadas. Cada vez a empresa tem que se adaptar mais rapidamente à situação ou oportunidade de negócio. Em virtude da empresa dominar cada vez menos fases e técnicas inerentes ao processo de fabrico, a necessidade de cooperação com outras empresas fornecedoras é maior e mais fundamental no êxito do produto. Surgem novos conceitos, como *federações de empresas*, *empresa estendida* ou *empresa virtual*. Estes conceitos, complementando os atrás referidos, defendem a distribuição por diversas empresas das várias tarefas, desde o desenvolvimento, produção e comercialização, passando pelo estudo, marketing, publicidade e serviços pós-venda, criando uma verdadeira rede dinâmica de fornecimento de produtos e serviços. Torna-se evidente que não só a comunicação e cooperação são fundamentais, como sobretudo é primordial uma boa e efectiva coordenação entre as empresas que compõem a *rede*.

Quando no início dos anos 80 surgiu o conceito de CIM, associado a metodologias de planeamento e técnicas de controlo, foi considerado uma solução para diversas questões de organização e funcionamento da empresa. No entanto, a interligação dos vários sectores da empresa e a tão proclamada integração do negócio, se conseguidos, nem sempre correspondem à solução esperada, o que a juntar às constantes e continuadas evoluções tecnológicas e de contexto económico levou muitos destes processos a serem declarados obsoletos ainda antes de estarem concluídos. Além do mais, este tipo de sistema caracteriza-se por uma estrutura estática, hierarquização de competências, adaptação e optimização para um conjunto fixo e predefinido de tarefas pelo que facilmente se compreenderá que sistemas deste género não se adaptarão de forma natural a ambientes em constante evolução económica e tecnológica. Um sistema de produção do futuro dever-se-á caracterizar pela capacidade de reacção e adaptação dinâmica às alterações no ambiente. Terá necessariamente facilidades de interligação e coordenação com outros sistemas por forma a atingirem em conjunto os objectivos globais a que se propuseram. As tarefas serão negociáveis entre as empresas cooperantes e por conseguinte dificilmente optimizáveis ao longo da produção. O sistema de controlo terá uma grande capacidade de tolerância a falhas e situações imprevistas e o ser humano um papel fundamental no sistema não só no que respeita a tarefas *nobres* mas também em tarefas em que a incerteza e a necessidade de adopção de medidas rápidas e imprevistas sejam frequentes.

Este trabalho tem por objectivo o estudo de conceitos tecnológicos inovadores que têm surgido associados aos sistemas industriais do futuro. Torna-se necessário justificar a sua adopção, a sua aplicabilidade e competências conceptuais na resolução de problemas a que estes novos sistemas estão sujeitos. Prevê-se além disso o desenvolvimento dum pequeno sistema de simulação de escalonamento da produção, que permita aferir da viabilidade da proposta, e servir para a realização de testes e experiências nesse domínio.

O segundo capítulo inicia-se com a análise das diversas necessidades da empresa do futuro, as tendências evolutivas e sua caracterização estrutural e organizacional. Esta análise permitirá a sistematização de requisitos que os sistemas produtivos devem evidenciar. Comparando-os com as funcionalidades e comportamentos dos sistemas actuais justificar-se-á a necessidade de alteração organizacional e tecnológica.

No terceiro capítulo apresenta-se o conceito proposto. Inicia-se o capítulo, descrevendo os Sistema de Produção baseados em Agentes, o qual se encaixa e responde às solicitações dos novos sistemas mas as suas características e aplicabilidade são de tal forma genéricas que a sua adopção será motivo de ambiguidades, problemas de especificação e de desenvolvimento. Nesse sentido sugere-se a arquitectura dos Sistemas de Produção Holónicos, a qual define estrutura, organização e regras de funcionamento suficientemente específicas para conduzir a especificação do sistema e a posterior implementação. No sentido de comprovar a opção, compara-se com duas das abordagens inovadoras surgidas nos últimos anos.

No quarto capítulo descreve-se o sistema implementado, apresentando a sua estrutura, componentes e organização, caracterizando-o em termos de informação e de funcionalidades. As características do conceito adoptado e a estrutura especificada para o sistema, tornam necessário a utilização de tecnologia de suporte que garanta alguns dos mais básicos requisitos funcionais do sistema. Nesse sentido, apresenta-se a infra-estrutura tecnológica utilizada, que condicionou consideravelmente a especificação e o desenvolvimento do sistema. Constatou-se desde muito cedo a necessidade de desenvolver um conjunto de serviços de apoio ao sistema produtivo, que forneçam mecanismos funcionais e organizacionais de acordo com os princípios defendidos pelo conceito holónico. No final do capítulo descreve-se o sistema implementado. Trata-se dum sistema de escalonamento da produção, cujos objectivos são a atribuição de cada uma das operações dum tarefa, a um recurso num determinado intervalo de tempo. Neste sistema de escalonamento foi aplicado um método novo, derivado dum outro anteriormente desenvolvido para sistema centralizados.

No quinto capítulo, apresenta-se uma descrição resumida das fases mais importantes ao longo do trabalho, e apresentam-se algumas orientações futuras.

Capítulo 2

MOTIVAÇÕES

"A maioria das empresas punha demasiada ênfase no facto de possuir, gerir e controlar directamente todas as actividades. Se havia algo que valia a pena fazer, então tinha de ser ela a fazê-lo. O problema é que agora o dia já não tem horas que cheguem para gerir tudo." - Richard Marcus, ex-presidente da Neiman Marcus

"Se não deixarmos os clientes guiar as nossas decisões, também não vão guiar os carros que fabricamos." - Donald Peterson, ex-presidente da Ford Motor Company

"São cada vez mais numerosas as empresas a acordar para o facto de que as alianças vão ter importância primordial no futuro. As tecnologias estão a evoluir tão depressa, que ninguém pode fazer tudo sozinho." - James Houghton, presidente da Corning

As consequências das constantes alterações na forma de produzir e comercializar, fazem-se sentir ao mesmo tempo sob o ponto de vista tecnológico e social.

Pode-se pensar que é a tecnologia que comanda as alterações sociais, quando disponibiliza formas de comunicação móvel ou desenvolve formas de mercado virtuais por exemplo, mas

por outro lado temos o caso de produtos tecnologicamente aconselháveis mas que nunca foram adoptados pela sociedade, caso da tecnologia Beta em vídeo gravadores.

Nas primeiras secções destes far-se-á uma abordagem das tendências de evolução dos sistemas produtivos em geral e em especial dos sistemas de produção. Apresentar-se-ão as necessidades e requisitos inerentes a essas alterações. Na última parte do capítulo, confrontam-se esses requisitos com as capacidades tecnológicas dum sistema típico actual, o que permitirá esclarecer as motivações para este trabalho.

2.1 As tendências de evolução

Inicia-se esta secção com uma apresentação rápida dum conjunto de tendências de evolução económicas, sociais e tecnológicas referidas por várias instituições e projectos, que afectarão a economia em geral e os sistemas produtivos em particular. Não é objectivo desta apresentação, fazer uma análise aprofundada desses factores nem tão pouco analisar as suas causas e consequências, mas tão só definir um conjunto coerente e amplamente aceite.

O programa *IMS - Intelligent Manufacturing System*¹ refere seis desafios que se colocam aos sistemas de produção:

1. Alterações de características dos factores humanos, incluindo défice de mão-de-obra qualificada e relutância dos jovens engenheiros em trabalhar na indústria produtiva;
2. Aparecimento de "ilhas de automação isoladas" nos sistemas produtivos;
3. Globalização de actividades corporativas;
4. Sistematização insuficiente da tecnologia existente;
5. Alterações nos requisitos do mercado, incluindo menores tempos de fabrico, e necessidades diversificadas;
6. Necessidade de preservar recursos naturais e o ambiente [IMS, 94].

Segundo o *Agility Forum*², alguns dos grandes desafios colocados aos sistemas de produção são, entre outros:

1. Intensificação da competição global;
2. Fragmentação dos mercados de massa em nichos de mercado;
3. Cooperação entre companhias, incluindo companhias competidoras directas;
4. Aumento das expectativas do cliente no sentido de produtos individualizados, fiáveis e com qualidade;

¹ IMS - *Intelligent Manufacturing System* (em português: Sistemas de Produção Inteligentes), é um projecto conjunto das seis mais desenvolvidas regiões mundiais: Austrália, Canadá, Comunidade Europeia, EFTA (cinco países: Áustria, Finlândia, Noruega, Suécia e Suíça), EUA e Japão, e tem por objectivo, promover a colaboração internacional no domínio das tecnologias de produção avançadas [IMS, 94].

² O Agility Forum foi fundado pela NSF- National Science Foundation (EUA), com o objectivo de promover e facilitar a adopção na indústria da visão estratégica descrita no relatório "21st Century Manufacturing Enterprise Strategy: An Industry-Led View". A estratégia tem por objectivo tornar a indústria americana competitiva e lider, e a estratégia proposta traduz-se no paradigma organizacional "empresa ágil".

5. Intensificação de pressões sociais que tornam impossível negociar na forma como era realizado antes dos anos 80 [Agility Forum, 97].

Já o projecto *NGM - Next-Generation Manufacturing*³, refere sete forças que serão observadas pelas empresas independentemente do local e actividade:

1. Aumento da disponibilidade e distribuição da informação;
2. Aceleração das alterações tecnológicas;
3. Rápida expansão no acesso a tecnologias;
4. Globalização dos mercados e competição;
5. Alterações nas aptidões dos recursos humanos;
6. Responsabilidade ambiental e limitação de recursos;
7. Aumento das expectativas dos clientes [NGM, 97].

Da análise do três projectos definiram-se quatro factores evolutivos que se consideram fundamentais neste trabalho:

1. Aumento das expectativas dos clientes;
2. Globalização da cooperação e dos mercados;
3. Incremento das pressões sociais, nomeadamente questões ecológicas;
4. Aumento da complexidade tecnológica.

Resumindo, se a tecnologia evolui e se a sua disponibilidade se expande, então as empresas podem usá-la se desejarem ou necessitarem. Além disso, as expectativas do cliente aumentam, o cliente deseja sempre melhores produtos, com melhor desempenho, que incluam melhor e mais avançada tecnologia. Como a competição é feroz e se dá a nível global, o resultado é o aumento da complexidade tecnológica do produto e do processo de fabrico.

Das quatro tendências evolutivas, apenas a questão das pressões sociais não será potencialmente utilizadora das abordagens sugeridas neste trabalho, ou melhor, as suas imposições far-se-ão sentir sempre através das outras três.

Efectivamente, segundo vários autores ([Parunak, 98a], [Kádár, 97]), dos quatro factores evolutivos apresentados, três delas beneficiarão potencialmente com a abordagem sugerida por este trabalho:

1. Aumento da complexidade tecnológica dos produtos;
2. Aumento da diversidade dos produtos no tempo;
3. Expansão das cadeias de fornecimento⁴.

³ Projecto *Next-Generation Manufacturing* (Produção da Próxima Geração), é um projecto comum de dezenas das mais reputadas companhias industriais americanas, com o apoio de Departamento de Energia, Departamento de Defesa, Instituto Nacional de Standards e Tecnologia (NIST) e a Fundação Nacional de Ciência (NSF). Este projecto tem como objectivos desenvolver um modelo de empresa do futuro amplamente aceite, bem como recomendar procedimentos de acção no sentido das empresas, individualmente ou com apoio, atingirem os objectivos propostos.

⁴ O termo cadeia de fornecimento deriva da terminologia anglo-saxónica *Supply Chain*.

2.1.1 Aumento da complexidade tecnológica dos produtos

Cada vez mais o produto pressupõe durante o seu ciclo de vida uma maior diversidade de tecnologias envolvidas sejam estas relacionadas com o equipamento de fabrico ou aplicáveis no próprio produto. O caso mais simples e paradigmático é o automóvel: múltiplos sistemas de segurança passivos e activos, motores, sistemas audiovisuais, ar condicionado, sistemas de apoio à condução e navegação, etc.. Os sistemas informáticos são outro exemplo típico. Os domínios de conhecimento incluídos na sua produção vão desde os sistemas operativos, sistemas de comunicação, sistemas de informação, até a aquisição de dados, sistemas periciais, interfaces e multimédia.

A empresa que se confronta com esse problema tem duas abordagens possíveis:

- Desenvolve conhecimento técnico nas áreas em questão;
- Procura fornecimento externo dos produtos dos quais não domina a tecnologia.

Em determinados casos, a primeira não é de todo uma opção, uma vez que o número de diferentes tecnologias envolvidas é de tal forma extensa que manter competências rentáveis em todas torna-se impraticável.

A segunda opção tem fundamentos organizacionais sólidos e reconhecidos, como *lean production* e *core business*. Estes dois conceitos, semelhantes em essência, defendem a especialização do trabalho, a produção "limpa", sem defeitos, com eficiência, em que a empresa dedica a sua atenção ao objectivo principal do negócio, aquele em que a empresa deve apostar e porventura fazer a diferença.

É no entanto possível em certos casos, utilizar um misto das duas opções. Determinadas empresas usam nos seus produtos, componentes para os quais existem fornecedores competentes. No entanto, com o objectivo de continuarem a dominar a tecnologia que lhes está associada, decidem continuar a produzi-los. Contudo, para manter real competência na sua produção, a empresa tem regras internas que a obrigam a recorrer a fornecimentos mínimos externos, bem como a obrigatoriedade de vender a empresas terceiras, ou seja, ter uma papel de fornecedor. Cria-se assim, internamente, uma concorrência artificial na qual a empresa é obrigada a competir e consequentemente a esforçar-se por se manter competente e eficiente.

No entanto, a tendência organizacional que se verifica é a especialização de competências e actividades, pelo que os fornecimentos externos são uma consequência natural e lógica desta abordagem, levando a que as cadeias de fornecimento se expandam e adquiram importância crescente nos sistemas produtivos.

2.1.2 Aumento da variedade do produto no tempo

Os clientes tendem a preferir as empresas que oferecem maior variedade de produtos [Parunak, 98a], [Baker, 97], o que torna promissora uma estratégia de mercado que passe pelo aumento da variedade da oferta.

Pode-se considerar dois tipos de variedade do produto:

- **Diversidade**, que corresponde à criação de vários modelos diferentes consoante objectivos definidos;
- **Diferenciação**, corresponde à especialização de determinado modelo no sentido de satisfazer as necessidades particulares de clientes específicos.

Independentemente da vertente em que seja abordada a questão, é um facto que a tendência é a empresa oferecer cada vez maior variedade de produtos. Contudo, se a empresa coloca mais variedade de produtos no mercado, necessita forçosamente de os desenvolver mais rapidamente, ou em termos técnicos, diminuir o tempo de lançamento no mercado (da terminologia anglo-saxónica *time-to-market*).

Na mesma perspectiva, se a empresa tem capacidade de colocação rápida de novos produtos no mercado, então tem hipóteses de ao longo do tempo responder mais eficazmente às preferências e necessidades dos clientes.

Contudo, uma empresa isolada tem maiores dificuldades em lançar a tempo e horas um (novo) produto no mercado. São muitos e variados os factores que determinam essa dificuldade:

- Lenta reacção aos sinais de mercado;
- Riscos e custos do negócio;
- Incapacidades tecnológicas;

No sentido de obviar essas fraquezas, a empresa recorre mais uma vez às cadeias de fornecimentos.

2.1.3 Expansão das cadeias de fornecimento

As diferentes actividades relacionadas com o ciclo de vida do produto são distribuídas por várias entidades. A tradicional relação cliente-fornecedor existente entre empresas evolui para relações de parceria, em que os intervenientes são colectivamente responsáveis pelas várias actividades do processo.

Da análise das secções anteriores, constata-se que quer o aumento da complexidade tecnológica dos produtos quer o aumento da diversidade de produtos implicam directamente a expansão das cadeias de fornecimento.

Esta afirmação é justificada pelas observações referentes à produção de equipamento informático, uma das áreas de produção líderes. Segundo a estatística, cada vez mais OEM's⁵

⁵ *Original Equipment Manufacturer* (em terminologia portuguesa: Produtor de Equipamento Original).

estão a trocar a sua produção por fornecedores contratados, e como resultado o mercado de serviços de produção de electrónica (*EMS*) está a expandir-se ao ritmo de 20% ao ano.

A mais importante consequência da adopção desta forma de produção refere-se à necessidade de coordenação de actividades entre as entidades envolvidas no processo. Este conceito pressupõe a paralelização de actividades por várias entidades, estando o resultado final dependente não só do correcto desempenho de cada uma, mas essencialmente duma efectiva coordenação de actividades.

2.1.4 Resumo sobre Tendências de Evolução

As cadeias de fornecimento não são consequência duma decisão deliberada. Este tipo de organização e conceito de gestão, aparece e desenvolve-se dinamicamente devido às pressões e vantagens competitivas que representa a sua adopção, mas também devido a um conjunto de factores que permite que tais fornecedores sobrevivam num ambiente muito dinâmico e competitivo.

Fica claro desta breve análise, a importância fundamental que as cadeias de fornecimento têm no actual panorama produtivo, não só sob o ponto de vista de facilidade e optimização de produção mas essencialmente pelas possibilidades criadas pela sua adopção. Nesse sentido, a próxima secção dedicar-se-á estudar alguns dos conceitos relacionados com cadeia de fornecimento e que tenham em comum a distribuição da produção por diferentes entidades. Os sistemas produtivos que se baseiem nessa estratégia designam-se por Sistemas de Produção Modernos.

2.2 Sistemas de Produção Modernos

Por sistemas de produção modernos entende-se que sejam sistemas de produção nos quais se observem os factores evolutivos referidos anteriormente, ou seja:

- Aumento da complexidade tecnológica do produto;
- Aumento da variedade do produto no tempo;
- Expansão das cadeias de fornecimento.

Não é objectivo do trabalho o estudo deste tipo de sistemas, no entanto, dada a sua relevância para o desenrolar do trabalho, torna-se necessário apresentar algumas noções sobre o assunto. Termos como **Empresa Estendida**, **Rede de Empresas**, **Federação de Empresas** e **Empresa Virtual** e **Corporação Virtual**, denominam conceitos que não sendo sinónimos, representam conceitos idênticos [Camarinha-Matos, 97] e apresentam características comuns.

2.2.1 Cadeia de Fornecimento

O conceito de rede ou cadeia de fornecimento não pode de todo ser considerado recente. Já durante a idade média e renascença várias famílias europeias teciam laços de colaboração por toda a Europa, criando uma rede transfronteiriça, mas só nas últimas décadas é que o conceito se generalizou.

Apresenta-se de seguida algumas definições encontradas na literatura que servirão para esclarecer a expressão:

- Segundo Parunak, "cadeia de fornecimento é um conjunto de organizações através das quais materiais e informação associada circula no sentido de produzir um produto manufacturado e providenciar a sua entrega ao cliente final" [Parunak, 98a].
- Segundo Jayashankar, "cadeia de fornecimento é uma rede de entidades de negócio autónomas ou semi-autónomas, colectivamente responsáveis por actividades de encomenda, produção e distribuição, associadas com uma ou mais famílias de produtos relacionados" [Jayashankar, 96].
- Segundo Lee e Billington, "cadeia de fornecimento é uma rede de entidades (*facilities*) que adquirem matéria prima, transformam-na em produtos intermédios e depois em finais, e os entregam aos consumidores através dum sistema de distribuição" [Lee, 95].
- Segundo Ganeshan e Harrinson, "cadeia de fornecimento é uma rede de entidades (*facilities*) e opções de distribuição que executam as funções de encomenda de materiais, transformação desses materiais em produtos intermédios e finais e distribuição dos finais aos clientes" [Ganeshan, 95].

Constata-se que todas descrevem "cadeia" como uma "rede", o que pressupõe que a expressão correcta não seja cadeia de fornecimento mas sim rede de fornecimento. Em essência, o termo "rede" descreve implicitamente interdependência e interligação múltipla entre várias entidades e não apenas de uma forma sequencial como o termo "cadeia" faz.

Todas limitam de alguma forma as tarefas e competências dos intervenientes a encomendas, produção e distribuição, o que é deveras limitativo na actividade duma empresa. Dificilmente se incluirão nestes termos outros como análise, concepção (*design*) ou comercialização e marketing.

Nas suas definições, Lee e Billington bem como Ganeshan e Harrinson resumem as tarefas de distribuição à entrega de produtos finais aos clientes. Esta abordagem parece ser, mais uma vez, algo limitativa. Se estamos a considerar que uma rede produz produtos intermédios e finais, será necessário considerar o transporte e distribuição de produtos entre os vários nós da rede e não apenas os produtos finais aos clientes finais. Jayashankar, utiliza a expressão "actividades de distribuição", não referindo o quê ou a quem, o que permite uma utilização mais abrangente. Por sua vez Parunak distingue as actividades de distribuição inerentes ao processo de fabrico (circulação de materiais) da entrega do produto final ao cliente.

Jayashankar defende que os nós da rede são entidades autónomas ou semi-autónomas. A utilização destes termos permite sobressair a separação organizacional e existência de objectivos distintos. As diversas entidades podem mesmo ser concorrentes entre si.

Na mesma definição, Jayashankar usa a expressão "colectivamente responsáveis". Esta expressão descreve ao mesmo tempo o querer e o dever, gerados pelo estabelecimento das relações bem como a necessidade de cooperação e coordenação entre entidades.

Parunak refere na sua definição uma questão muito importante que não é referida por mais nenhum autor: o fluxo de informação. Embora o fluxo de informação seja inerente a todos os processos de fabrico, é fundamental que seja referido e tratado explicitamente dada a sua importância no desenrolar correcto das actividades.

2.2.2 Conceitos Relacionados

No final dos anos 80 e início dos anos 90, a aplicação do conceito e estratégia de cadeia de fornecimento desenvolveu-se e vulgarizou-se de tal forma, que em certos casos a fronteira entre a empresa e os seus fornecedores praticamente deixou de existir. Nesse sentido, nos últimos anos foram sendo desenvolvidos novos conceitos que classificam e formalizam as relações inter-empresas neste tipo de estratégia. Apresentam-se de seguida algumas definições dos conceitos:

- Jan Hoplan foi quem primeiro usou o termo **Empresa Virtual** enquanto trabalhava para a *Digital Equipment Corporation* no início dos anos 90, e define o conceito como "uma estrutura capaz de mobilizar recursos superiores aos que efectivamente possui, graças à colaboração com entidades dentro e fora das suas fronteiras enquanto empresa e pessoa jurídica".
- Segundo o **Consórcio NIIP**⁶, a "**Empresa Virtual** é um consórcio ou aliança temporária formada para partilhar custos e competências e explorar oportunidades num mercado em constante mudança [...] sem olhar a tamanhos da organização, localização geográfica, ambientes computacionais, tecnologia empregue ou processos implementados [...] partilhando custos, conhecimentos e competências específicas, que colectivamente lhe permite aceder a mercados globais com soluções de classe que não poderiam fornecer individualmente." [NIIP, 96].
- **Walton** considera que a "**Empresa Virtual** consiste numa série de nós cooperantes e com competências específicas que formam uma cadeia de fornecimento no sentido de atingir uma oportunidade específica no mercado" [Walton, 96].

⁶ NIIP - *National Industrial Information Infrastructure Protocols Consortium* é um conjunto de organizações que se agruparam no sentido de criarem protocolos (de *software*) que permitam às empresas (de manufactura) e seus fornecedores inter-operarem como se fizessem parte da mesma empresa.

- **Byrne** considera que a "**Corporação Virtual**⁷ é uma rede temporária de companhias - fornecedores, clientes e até rivais - interligados por tecnologias de informação para partilhar competências, custos e acesso aos mercados dos outros, não terá sede nem mapa da organização. Não terá hierarquia nem integração vertical" [Byrne, 93].
- Segundo **Camarinha-Matos**, o termo concorrente e mais semelhante a Empresa Virtual é **Empresa Estendida**. Este termo adapta-se a casos em que a empresa dominante estende a sua influência a alguns ou todos os parceiros [Camarinha-Matos, 97], enquanto Empresa Virtual, é um conceito com um sentido mais liberal, em que não existe necessariamente domínio ou dependência entre entidades, mas sim uma relação de oportunidade de negócio vantajosa.

2.2.3 Análise das definições

Das definições apresentadas, o conceito de rede ou conjunto de entidades é comum a todas. As razões para tal aglomeração foram em parte herdadas da definição de cadeia de fornecimento, i.e., conduzir as suas competências específicas para o objectivo comum.

Por outro lado, constata-se que a motivação para a adopção destes conceitos advém essencialmente de factores económicos e oportunidade de negócio.

Infere-se a natureza temporária, logo dinâmica, que estas definições impõem ao agrupamento. Embora das definições apresentadas, Corporação Virtual seja a única que refere as tecnologias de informação, o uso deste elemento é uma das características da Empresa Virtual [Camarinha-Matos, 97], [McMillan, 94] e de todos os conceitos relacionados. Face aos objectivos descritos pelos conceitos, o uso das tecnologias de informação é incontornável, as tecnologias de informação não são apenas a ferramenta que as sustenta mas também as motivações e razões da sua existência. Por vezes as tecnologias de informação são consideradas o ponto de partida para atingir um objectivo económico, inatingível de outra forma.

2.2.4 Cadeia de fornecimento Vs. Conceitos relacionados

Comparando os conceitos apresentados, constata-se que várias características apresentadas nestas três últimas definições não são facilmente integráveis nas apresentadas sobre cadeia de fornecimento:

- **Natureza oportunista**, que significa tentar atingir um objectivo momentâneo. Para tal é necessário estar atento a pequenos sinais de mercado e saber detectar oportunidades de negócio, o que deverá acontecer seja qual for a posição (hierárquica) produtiva da

⁷ Em grande parte da literatura [McMillan, 94], [Haines, 98], [Davidow, 92], o termo Corporação Virtual é utilizado como sinónimo de Empresa Virtual.

entidade, ao contrário do que acontecia nas rede de fornecimento, em que o "fornecedor" tem uma atitude passiva;

- **Razões Económicas vs. Técnicas.** Ao contrário do que acontecia conceptualmente numa rede de fornecimento em que a prioridade era a capacidade de realização de determinada função do processo produtivo, nos conceitos mais recentes a ênfase é colocada em questões económicas estratégicas, como seja a partilha de riscos e custos;
- **Natureza dinâmica e temporária** pressupõe uma organização em constante alteração, com duração limitada à resposta da oportunidade para a qual foi criada a empresa. Cadeia de fornecimento pressupõe uma estrutura mais estática, em que os intervenientes são contratados e têm a obrigação de cumprir o contrato. Uma visão interessante destas questões é a criação temporária duma empresa coordenadora de actividades relacionadas com determinado objectivo momentâneo. Essa empresa não teria qualquer competência ou capacidade de concepção ou de produção, limitar-se-ia a definir objectivos, conceitos e princípios genéricos de funcionamento da organização, no fundo ser a "fachada" dum produto ou serviço.

Exemplo: Um caso típico desta abordagem é a empresa norte-americana de mobiliário e artigos de escritório *Turstone* que contrata literalmente todos os serviços relacionados com o negócio, desde o projecto do equipamento, produção, armazenamento, até ao marketing, publicidade, venda, entrega e assistência técnica.

2.2.5 Características

Das várias definições e conceitos apresentadas, compilaram-se cinco pontos que se consideram como características fundamentais dos sistemas de produção modernos:

1. **Estrutura dinâmica**, uma vez que o conjunto de entidades que a compõe e as relações entre elas deve ser variável ao longo do tempo.
2. **Confiança e Responsabilidade**, pela relação de interdependência criada, uma vez que as entidades dizem-se cooperantes e colectivamente responsáveis.
3. **Competência**, porque do conjunto de actividades realizáveis por cada entidade, apenas as suas actividades específicas e competências chave são utilizáveis pela empresa global, criando assim um sistema eficiente.
4. **Oportunidade**, uma vez que a empresa é criada no sentido de aproveitar uma oportunidade específica e momentânea de negócio.
5. **Tecnologias de Informação**, uma vez que a troca de informação é fundamental nos complexos sistemas de cooperação e coordenação entre entidades. Normalmente esta troca de informação é suportada por tecnologias de informação avançadas.

2.2.6 Definição

Analisando as várias perspectivas e conceitos, e contrapondo-as com os requisitos apresentados, verifica-se que nenhuma das definições apresentadas os satisfaz completamente.

- **Cadeia de fornecimento** parece ser um termo e conceito algo estático uma vez que não pressupõe agrupamento temporário e dinâmico das entidades envolvidas. É verdade que não o exclui, mas não o refere explicitamente como característica de comportamento desejável;
- **Empresa Estendida** tem a particularidade de hierarquizar as relações entre a empresa dominante e as suas parceiras, o que não é desejável. Os termos Empresa Estendida e Cadeia de Fornecimento ficam por isso, conceptualmente muito próximos;
- **Empresa Virtual e Corporação Virtual.** Qualquer das definições apresentadas não refere simultaneamente todos os requisitos. As definições apresentadas pressupõem a integração de negócio entre entidades, o que se considera uma característica desejável a longo prazo.

Nota: Esta atitude integradora é considerada problemática em casos iniciais de cooperação entre empresas, devido fundamentalmente a desconfianças mútuas de intenções [Mezgár, 97].

Analisando os termos apresentados, considera-se que aquele que melhor se adapta e menos diverge da perspectiva desejada é Empresa Virtual, tanto mais se se aglutinarem as ideias existentes nas definições [NIIP, 96] e [Walton, 96].

Assim considerar-se-á que "**Empresa Virtual é uma rede temporária de entidades autónomas ou semi-autónomas, cooperantes e colectivamente responsáveis por actividades produtivas, formada no sentido de atingir uma oportunidade específica no mercado e através da qual circulam matérias e informação relacionada.**"

Esta definição não tenciona substituir as outras ou sequer pô-las em questão, mas apenas que reflita a visão do problema no decorrer deste trabalho, de forma a usá-la como referência dum sistema de produção moderno.

2.2.7 Resumo sobre Sistemas de Produção Modernos

Duma forma resumida mas suficientemente abrangente foi analisado nesta secção o conceito de sistema de produção moderno. Foram descritos alguns termos emergentes e as suas características fundamentais foram analisadas e comparadas, o que permitiu elaborar uma lista de características fundamentais neste sistemas. Este estudo culminou com a apresentação duma definição de Empresa Virtual, cujos princípios de organização e funcionamento descritos servirão como referência dum sistema de produção moderno ao longo deste trabalho.

2.3 Desafios aos Sistemas de Produção

Nas secções anteriores referiram-se várias tendências evolutivas dos sistemas de produção e descreveu-se em particular o conceito e razões do sucesso das cadeias de fornecimento e a forma como evoluíram para o paradigma de Empresa Virtual.

Nesta secção serão apresentados os desafios que estas tendências evolutivas colocam aos sistemas produtivos e em especial aos sistemas de produção. Analisar-se-ão as alterações necessárias a operar e os requisitos impostos às tecnologias de suporte.

O ciclo de vida do produto pode ser dividido funcionalmente em duas grandes fases:

- **Projecto** (da terminologia anglo-saxónica *Design*), que compreende o conjunto de actividades relacionadas com a definição de necessidades, requisitos, características físicas, comportamento, materiais, processos, etc., tanto referentes ao produto como aos equipamentos que o fabricarão. Nesta fase realizam-se importantes actividades de verificação, validação e teste dos projectos do produto e dos sistemas de produção, com o objectivo de diminuir o “risco dos produtos finais não satisfazerem as expectativas de projecto” [Parunak, 98a].
- **Operação** (da terminologia anglo-saxónica *Operation*), que diz respeito ao conjunto de actividades do processo de fabrico definidas no Projecto. Estas actividades compreendem operações de alteração das características físicas do produto, a sua localização, o seu comportamento, bem como o controlo destas actividades.

Deixam-se deliberadamente de fora desta lista actividades como vendas, serviços pós-venda, marketing e publicidade, apenas por se situarem fora dos objectivos do trabalho. Analisam-se de seguida alguns desafios colocados em cada uma das fases.

2.3.1 Projecto

Abordemos o problema através da comparação da situação tradicional com a situação previsível. A fase de projecto de uma empresa "tradicional" caracteriza-se fundamentalmente por:

- Divisão do projecto por equipas com competências disciplinares distintas [Parunak, 98a]. Estas equipas não se limitam a projectar o componente, necessitam de tomar decisões, confrontar ideias e coordenar o projecto com os demais elementos do projecto;
- Dependência funcional entre os vários componentes do produto. Sendo os diversos componentes do produto, funcional e comportamentalmente dependentes, há necessidade de garantir que estes objectivos são atingidos. Assim, as diversas entidades devem coordenar actividades por forma a solucionar problemas relacionados com estes aspectos.

Numa empresa virtual, estando esta sujeita às tendências evolutivas apresentadas em 2.1, os factos anteriores não só continuam válidos como ainda são expandidos:

- A divisão do projecto não se verifica apenas dentro da empresa:

- ◆ Os parceiros produtivos têm cada vez maior participação nas várias fases do ciclo de vida do produto, incluindo o projecto;
- ◆ Cada vez mais o cliente participa na concepção do produto;
- Se a empresa adoptou a estratégia de rede de fornecimento ou empresa virtual, uma das razões prováveis é o aumento da complexidade tecnológica, pelo que é legítimo considerar-se que a complexidade do produto aumenta.

O projecto, tal como qualquer actividade produtiva, é organizado num processo que é seguido no sentido de o organizar e gerir. Dentro desse processo existem diversas restrições causadas pela distribuição, aumento da complexidade e diminuição dos prazos de entrega:

- **Planeamento das actividades de projecto.** Os problemas surgem devido à interdependência funcional entre componentes e à necessidade de resolução de conflitos e refinamento de pormenores. Estas situações e o seu número são imprevisíveis, pelo que sendo o projecto distribuído por várias entidades, torna-se ainda mais complicado;
- **Articulação de competências e prioridades.** Às equipas de projecto são atribuídas tarefas, regras, competências e prioridades genéricas que possibilitam a criatividade, evolução e inovação. Contudo facilitam a ocorrência de conflitos entre as várias equipas de projecto, que cria a necessidade de existências de mecanismos de resolução de conflitos. Estas situações são tradicionalmente solucionadas através de decisões “políticas” [Parunak, 98a], o que não é de todo aconselhável numa organização tão liberal como uma empresa virtual, onde a sua composição e organização são dinâmicas ao longo do tempo.
- **Modelação e Simulação.** O aumento da complexidade tecnológica do produto, o aumento de produtos a serem desenvolvidos, a diminuição dos tempos de desenvolvimento, bem como a distribuição das tarefas por várias entidades facilitam a ocorrência de erros na fase de projecto. Estes erros nem sempre são detectáveis, sendo portanto passados para a fase da implementação dos sistemas e operação. A modelação e simulação permitem a verificação⁸ precoce dos resultados do projecto, facilitando a detecção e solução de potenciais erros ainda antes de qualquer implementação, o que diminui substancialmente os riscos inerentes, tornando-os numa mais valia para a empresa.

Exemplo: Uma pequena falha de projecto pode ter implicações enormes. Veja-se o caso da marca de automóveis alemã Mercedes-Benz e do seu veículo Class A. Os resultados de determinados testes de segurança dinâmica do veículo demonstraram falhas de projecto. Com tais resultados, uma marca que faz do prestígio, qualidade e segurança pontos de honra, pode ver dum momento para o outro a sua reputação afectada e possibilidade de avultadas perdas económicas. O exemplo serve para constatar as graves implicações que um problema de projecto pode ter numa marca tão sólida e conceituada como a Mercedes-Benz.

⁸ Verificação é o processo que visa avaliar o grau de satisfação fornecido por um produto ou serviço face às especificações [Santos, 97].

- Adicionalmente, as empresas têm vindo a admitir as grandes vantagens temporais e consequentemente financeiras inerentes as estas actividades, e têm vindo a reduzir a modelação, simulação e testes com objectos físicos, e adoptar a abordagem completamente informatizada.

Exemplo: Um dos mais recentes aviões desenvolvidos pela Boeing (líder mundial de aeronáutica civil) é o Boeing 777. Este avião, completamente desenvolvido em computador (não foi usado um único plano ou projecto em papel) é composto por cerca de 4 milhões de peças, 132500 das quais desenvolvidas e fabricadas externamente, i.e., por fornecedores. Apesar das potenciais inconsistências advindas da complexidade tecnológica e diversidade de fontes de fornecimento, o seu desenvolvimento não incluiu em nenhuma fase a construção de protótipos, sendo os teste e verificação funcional realizadas com o recurso a modelação e simulação. O resultado foi surpreendente, já que as suas características e desempenho excederam as expectativas mais optimistas [Larson, 97].

2.3.2 Operação

A fase de operação diz respeito ao conjunto de actividades do processo de fabrico definidas no projecto. Estas actividades são variadas e por vezes dificilmente detectáveis e definíveis. Embora se possa incluir nesta fase actividades como venda, publicidade, marketing, serviços pós-venda e outras semelhantes, não o faremos, antes dedicamos especial atenção às actividades ditas de fabrico: escalonamento e acompanhamento.

- **Escalonamento** é a actividade que combina o quando e onde serão executadas as actividades produtivas. A eficiência do sistema de escalonamento é determinado por vários factores que são alterados com este tipo de sistemas:
 - ♦ **Aumento de soluções de escalonamento.** O aumento da complexidade tecnológica, de produtos em fabrico simultâneo e o aumento e diversificação dos recursos produtivos, aumenta o espaço combinatório, pelo que o processo se torna mais complicado e demorado;
 - ♦ **Instabilidade do sistema.** Devido ao aumento dos tipos de produtos a serem produzidos simultaneamente, o sistema dificilmente atingirá situações de operação estável e muito menos optimizada, pelo que o escalonamento passará a ter uma maior componente de reacção em complemento do planeamento;
 - ♦ **Dificuldades de reacção.** A distribuição da produção por várias entidades tem implicações ao nível do escalonamento, pois o trânsito da informação entre acompanhamento e escalonamento torna-se mais complicado. Apesar da complexidade, o escalonamento num sistema tradicional é eficiente porque as duas tarefas são centralizadas [Parunak, 98a]. A descentralização do acompanhamento faz aumentar as dificuldades.

- **Acompanhamento.** É competência do acompanhamento a recolha e encaminhamento de dados de e para outros módulos. O termo "Controlo" é um sinónimo técnico para as mesmas actividades. O processo de acompanhamento é condicionado pelas evoluções tecnológicas das seguintes formas:
 - ♦ **Aumento da complexidade.** O aumento da variedade de produtos e o aumento da complexidade tecnológica dos produtos, em conjunto com a diminuição dos tempos de lançamento no mercado, implicam o aumento do número de operações a serem efectuadas ao mesmo tempo, tornando o sistema produtivo mais complexo, o que se reflecte no sistema de acompanhamento;
 - ♦ **Dificuldades de coordenação.** A adopção de redes de fornecimentos ou associação em empresas virtuais implica que o controlo passe a ser distribuído, logo não exista noção do estado global do sistema;
 - ♦ **Instabilidade do sistema.** O que foi referido para o Projecto é também válido neste ponto, i.e., o aumento de variedade de produtos e a diminuição dos tempos de lançamento no mercado, provocam no sistema constantes alterações de produção, pelo que o controlo deverá ter características diferentes das do sistema tradicional, onde a estabilidade e optimização são a norma.

2.3.3 Requisitos tecnológicos

As tendências evolutivas impõem alterações e problemas operacionais às fases de projecto e operação dos sistemas produtivos. No sentido de obviar os problemas referidos quer a organização quer a tecnologia devem fornecer mecanismos que facilitem a evolução ou conversão das empresas.

Analizando as alterações e as necessidades que se lhe deparam, apresenta-se nesta secção os requisitos tecnológicos que servirão de resposta. Importa definir genericamente as necessidades sob um ponto de vista conceptual sem nunca perspectivar soluções ou abordagem possíveis.

2.3.3.1 Distribuição e Descentralização

Estes são os requisitos mais genéricos que se pode apresentar depois das descrições apresentadas. Nunca como agora se verificou uma tão grande distribuição e descentralização⁹ de competências e actividades na produção dum determinado produto.

Não é a necessidade de negociação ou colaboração entre diferentes entidades que determina o início do processo de distribuição e descentralização de competências, de actividades ou de controle pelas entidades. Pelo contrário. No futuro panorama negocial, os intervenientes preferidos serão aqueles que dispõem de organização e métodos de gestão apropriados ao processo de negociação, que dispõem desde o início de condições técnicas compatíveis e

⁹ Ver I.7 para diferenças de significado entre os dois termos.

versáteis de encetar negociações, de partilhar competências e experiências e estarem preparados para fazerem parte dum sistema produtivo mais amplo. Contudo estas empresas devem apesar disso manter autonomia e controlo das suas actividades.

A distribuição da produção por diversas entidades mantendo relações intensas de coordenação e cooperação, e a capacidade de decisão entre serviços de várias entidades, é uma filosofia recente para a qual a tecnologia tradicional não está preparada, o que faz deste um requisito a desenvolver de base nos modernos sistemas produtivos.

2.3.3.2 Comunicação

A comunicação tem uma importância determinante na adopção e sucesso do conceito de empresa virtual dada a necessidade óbvia de interligar as diversas entidades.

Deste elemento dependem as transações de todo o tipo de informação, desde a informação de gestão em que há uma grande necessidade de sigilo e segurança, passando pela informação técnica sobre produtos e processos, a qual se caracteriza por complexidade e diversidade, até à informação de acompanhamento, caracterizada pela necessidade de rapidez e fiabilidade dos sistemas de comunicação.

O sistema de comunicações deve além disso fornecer suporte a actividades de coordenação das actividades do sistema e ser factor de minimização de diferenças culturais entre as entidades, permitindo conversações e negociações complexas e automatizadas.

2.3.3.3 Gestão da informação

A tecnologia de informação é responsável pela implementação de regras de acesso à informação: "quando", "como" em "que condições" pode ser alterado "o quê". Relacionando as tendências evolutivas dos sistemas produtivos constata-se que os sistemas de gestão da informação deverão adicionalmente ser capazes de solucionar as seguintes questões:

- **Incoerências**, pois a distribuição facilita a redundância de informação que por sua vez conduz facilmente a situações de incoerências e ambiguidade;
- A inexistência de **Sintaxe, Semântica e Pragmática** normalizadas ou consensuais, agravada pela heterogeneidade das entidades participantes na produção, incapacita o sistema de usar correctamente a informação;
- **Ineficiência**. As duas anteriores considerações, associadas à enorme quantidade de informação processada e comunicada entre entidades conduz a erros consecutivos e à ineficiência do sistema.

Além dos pontos anteriores, a tecnologia de informação, que deverá evoluir para gestão do conhecimento, poderá ter um papel importante na resolução dos problemas de diferenças culturais inter-entidades, essencialmente se tiver a capacidade de tornar transparente e com o mínimo de ruído as trocas de conhecimento e conversações entre empresas.

2.3.3.4 Flexibilidade e Reactividade

Como foi referido nos pontos 2.3.1 e 2.3.2, as evoluções esperadas conduzem à instabilidade e alteração constante da produção, o que implica incapacidade de optimização do processo.

Na empresa tradicional, o processo é efectuado durante longos períodos de tempo, há condições de o analisar, afinar e otimizar continuamente. Com as alterações anunciadas, os sistemas tenderão no limite a produzir lotes de uma unidade, o que significa constante mudança de operação e afinação das máquinas¹⁰. Consequentemente, torna-se impossível melhorar o sistema pela experiência contínua (que deixa de existir), bem como desenvolver conhecimento e técnicas de resolução de problemas.

É fundamental que o sistema evidencie características de flexibilidade e reactividade. Flexibilidade para que o sistema permita a alteração de tarefa de forma rápida, simples e com custos reduzidos. Reactividade para que as entidades realizem automática e atempadamente as alterações possibilitadas pela flexibilidade.

2.3.3.5 Coordenação de competências

Já anteriormente foram referidas necessidades de coordenação de competências, de prioridades, de actividades e resultados. Sem coordenação dificilmente qualquer sistema distribuído sobreviverá, pelo que é necessário existir um conjunto de objectivos comuns previamente definidos colectivamente, aos quais as entidades dão o seu aval e comprometimento. Numa estrutura heterárquica o foco deve ser colocado na predefinição de competências, na coordenação de actividades e na definição de regras e directivas que conduzam inequivocamente aos objectivos globais. A coordenação de actividades não é um assunto simples e facilmente generalizável, contudo a solução para tais problemas não deve passar pela definição de entidades com poder arbitral, mas sim pela adopção e implementação de capacidades de geração de entendimento mútuo e descentralizado, pois a empresa virtual é uma entidade mutável em termos de constituintes e estrutura.

2.3.3.6 Modularização

A modularização¹¹ refere-se à construção do sistema baseado em módulos individualmente funcionais, mas cuja utilidade só é atingida pela interligação e inclusão num sistema mais amplo.

A necessidade de desenvolvimento modular do sistema prende-se com duas questões:

- **Ciclo de vida do sistema.** As alterações de necessidades ao longo do ciclo de vida do sistema nem sempre são atingidas através de propriedades de flexibilidade e reactividade, pois estas apenas garantem a alteração de actividades pela combinação de situações previstas. Sendo os sistemas produtivos modernos altamente dinâmicos e sujeitos a pressões evolutivas constantes, as especificações inicialmente definidas deixam de ser total ou parcialmente válidas ao longo da vida do sistema. Sendo assim, é necessário por vezes a

¹⁰ Os tempos de afinação das máquinas (da terminologia anglo-saxónica *setup time*), pelo número de vezes que ocorrem (no limite, uma vez por cada operação), passarão a ter um peso enorme no tempo total de ocupação do recurso produtivo.

¹¹ O termo Modularização não existe em português. O termo pretendido deverá significar “acto ou efeito de modular”. Contudo, o termo que deveria corresponder ao significado é Modulação que no entanto representa algo completamente diferente do pretendido. Como o termo Modularização (apesar de não existir oficialmente) é correntemente usado com o significado pretendido, optou-se pela sua utilização.

alteração do sistema, substituindo-o ou modificando-o, o que é normalmente uma tarefa altamente complexa e dispendiosa. A construção de sistemas baseados em módulos permite a substituição parcial do sistema, implicando menores custos e alterações. Adicionalmente, as vantagens desta propriedade são expandidas pela descentralização de competências no sistema, pois a descentralização facilita a independência funcional do sistema em relação a entidades específicas. Sendo assim, é possível alteração dos módulos funcionais sem custos operacionais;

- **Complexidade.** As três tendências evolutivas expandem substancialmente várias dimensões de alguns problemas encontrados na produção, o que conduz a um aumento de situações potenciais. No entanto, a combinação de actuações de apenas alguns módulos cria um número de situações teoricamente impossível de atingir num sistema monolítico. O número de situações geradas pelas combinações cresce exponencialmente com o número de módulos e com as funcionalidades de cada um. Assim, em vez de especificar todas as situações possíveis de ocorrer no projecto, o objectivo passa a ser capacitar o sistema a combinar as funcionalidades de cada entidade e decidir a actuação no momento da operação.

2.3.3.7 Sub-especificação

Sub-especificação refere-se à caracterização ou definição incompleta do sistema na altura do projecto, capacitando-o a decidir a sua actuação na altura da operação.

Nesse sentido, a resolução da complexidade do sistema através da combinação de módulos (2.3.3.6) denomina-se sub-especificação. No entanto, a combinação dinâmica e reactiva de módulos é apenas uma forma de implementar sub-especificação.

Outra forma é o desenvolvimento do sistema baseado em classes de entidades, em vez de entidades ou objectos propriamente ditos. Esta forma pode-se generalizar a diversos elementos do sistema, como entidades produtivas, conversações, funcionalidades, etc.

Refira-se no entanto que outra forma não tecnológica de desenvolver sistemas sub-especificados é a inclusão do ser humano no sistema produtivo. Este não só garante a sub-especificação a vários níveis como ainda é capaz de reagir em situações imprevistas extremas.

2.3.3.8 Modelação de entidades físicas em entidades lógicas

A juntar à já referida modularização, é necessário também que os módulos representem (modelem) as entidades físicas existentes no sistema. São várias as vantagens, nomeadamente no que se refere à definição da estrutura, modelação e simulação do sistema. Se o sistema relacionar entidades lógicas com entidades físicas, tendo as entidades lógicas implementadas as

características, restrições e os comportamentos desejáveis¹² da entidade física, então a tarefa de transferência de conhecimento e informação do modelo e da simulação para o sistema físico e vice-versa será bastante simplificada. Adicionalmente, como se trata de sistemas de estrutura dinâmica, com entidades a entrarem e saírem constantemente, se o sistema lógico estiver modelado e implementado em função do sistema físico, torna-se muito simples a gestão deste dinamismo.

2.3.4 Resumo sobre os Desafios

Abordaram-se nesta secção, os desafios colocados às diferentes fases do sistema produtivo, definindo as alterações e problemas que surgem com a resposta às tendências evolutivas referidas em 2.1.

Para isso, dividiu-se o ciclo de vida do produto em duas fases distintas: Projecto e Operação. As duas, sofrerão de forma diferente com as evoluções sugeridas, no entanto, analisando as suas alterações foi possível encontrar um conjunto limitado de desafios.

Sistematizaram-se as alterações e dificuldades provocados por esses desafios, o que conduziu à definição dum conjunto de requisitos tecnológicos para lhes fazer face.

2.4 Conceito de CIM

Deseja-se nesta secção analisar as limitações tecnológicas e organizacionais dos sistemas actuais quando sujeitos às tendências evolutivas previstas.

O conceito de CIM é um conceito organizacional-tecnológico surgido nos anos 80 para solucionar diversos problemas dos sistemas produtivos e para orientar a empresa na adopção de automatização e tecnologia informática segundo modelos comprovados.

Existem outros conceitos semelhantes, como CAM-I¹³ e o modelo de referência MPCS¹⁴ [Tharumarajah, 96], mas os sistemas baseados no conceito de CIM são dos mais adoptados e estão ainda em funcionamento em grande parte das empresas que os adoptaram, daí ter-se escolhido este conceito para confrontação com os requisitos dos novos sistemas produtivos.

¹² Não será necessário modular e implementar todas as características físicas e comportamentais da entidade, se se admitir que apenas um subconjunto destas é necessário.

¹³ CAM-I, *Computer Aided Manufacturing-International*.

¹⁴ MPCS, *Manufacturing Planning and Control Systems*.

2.4.1 Descrição

Quando o conceito de CIM surgiu no início dos anos 80, era entendido fundamentalmente como *Computer Manufacturing* sendo o termo “Integração” pouco relevante e secundário na altura da implementação. O que era realmente importante era a informatização¹⁵, automatização e diminuição do ser humano na planta fabril. Surgem assim as ilhas de automação, que mais não são que centros de produção informatizados e automatizados, supostamente muito eficientes isoladamente, mas que no conjunto poucas ou nenhuma vantagens competitivas trazem à empresa.

Com o tempo e com as primeiras frustrações e fracassos, foi-se iniciando um longo processo de aprendizagem e de adaptação às necessidades tecnológicas e sociais da empresa. Inicialmente pensou-se que a solução continuaria a passar pelo uso da tecnologia, pois constatou-se a ineficiência das ilhas de automação a nível global, o que poderia potencialmente ser resolvido com a interligação dos sistemas heterogéneos. Desenvolveram-se e implementaram-se então formas de comunicação e interligação, protocolos, e formatos de codificação de informação. Contudo, rapidamente se constatou que o verdadeiro problema dos sistemas se devia a duas questões não tecnológicas:

1. Por um lado, considerava-se que a informatização e automatização por si só melhoravam o desempenho do sistema, o que não é verdade se no sistema se continuarem a verificar os mesmos procedimentos ineficazes, errados e por vezes contraditórios. Além do mais é normal que o sistema implementado não só contenha os erros do sistema físico como ainda os amplie, provocando portanto nos utilizadores uma opinião negativa e conflituosa;
2. Por outro lado, sendo o processo de implementação muito demorado, complexo e que deveria tocar todos os pontos da empresa, logo se dão conflitos de interesses. Se já de si o ser humano é avesso à mudança, com as primeiras acções de automatização e controlo do sistema de fabrico que o afectam directamente, é natural que este se sinta afectado e reaja negativamente, dificultando as tarefas de implementação ou operação do sistema.

Surgiram então empresas responsáveis pelo acompanhamento do processo implementação e integração dos diversos componentes tecnológicos, que juntamente com a comunidade científica desenvolveram metodologias e técnicas de estudo e implementação. Estas metodologias caracterizam-se fundamentalmente por:

- Requerer o compromisso e colaboração contínua dos gestores;
- Sistematização das actividades e competências das diversas entidades, definindo objectivos e metas a atingir, faseando-as no tempo.

A contratação de empresas de integração e a adopção destas metodologias permitiram o desenvolvimento do conceito a partir de metade dos anos 80 e surgiram então casos de sucesso com evidentes vantagens competitivas para as empresas.

¹⁵ Usa-se o termo informatização no sentido em que esta corresponde ao uso de computadores e informação automatizada.

Um típico sistema CIM caracterizava-se na altura por:

- Grande dimensão e centralização;
- Optimização de funcionamento para um conjunto fixo de operações;
- Funcionamento robusto para as soluções implementadas;
- Estrutura fixa e hierárquica;
- Diminuição da presença do ser humano na planta fabril.

No entanto, decorriam ainda muitas tentativas de implementação e já se começava a sentir os primeiros sinais de alteração do contexto de produção, e que iriam rapidamente colocar em questão toda a abordagem de produção.

2.4.2 CIM: Características Vs. Requisitos

Comparam-se agora as características apresentadas na secção anterior com os requisitos tecnológicos definidos em 2.3.3, de forma a encontrar elementos que permitam retirar conclusões acerca da viabilidade de adopção do conceito de CIM nos próximos sistemas produtivos.

Os requisitos definidos em 2.3.3 são os seguintes:

- Distribuição e Descentralização;
- Comunicação;
- Gestão da informação;
- Flexibilidade e Reactividade;
- Coordenação de competências;
- Modularização;
- Sub-especificação;
- Modelação de entidades físicas em entidades lógicas.

2.4.2.1 Distribuição e Descentralização

O conceito CIM pressupõe a integração de todas as actividades e informação da empresa num sistema único, monolítico e centralizado. Estas considerações afastam desde logo a hipótese de implementação de sistemas distribuídos na empresa utilizando este conceito.

Será possível desenvolver as interfaces do sistema da empresa a ponto de a tornar numa entidade negociante e cooperante? Será que é possível tornar estes sistemas (centralizados sob um ponto de vista interno), em sistemas distribuídos (quando se fala em empresas virtuais)?

A integração das actividades do sistema devem ser centralizadas e hierarquizadas. No entanto, em situações que esta estratégia foi uma hipótese a solução não passou pela reengenharia mas

sim pela introdução de elementos exteriores ao sistema os quais eram responsáveis por tarefas de interligação entre os sistemas, denominados *wrapper's*¹⁶.

No entanto esta solução sem alterar o sistema existente torna-o consideravelmente diferente daquele preconizado pelo conceito CIM. No fundo o que tínhamos nesta situação era um motor de processamento de informação mascarado para o exterior por procuradores que davam a noção de distribuição.

2.4.2.2 Comunicação

O CIM e os sistemas de comunicações são indissociáveis e existem mesmo descrições conceptuais de sistemas que se baseiam nas tecnologias de informação em geral e nas tecnologias de comunicação em particular. Foi com o surgimento do conceito e implementação de sistemas CIM que se verificou o maior incremento no uso de comunicações nos sistemas de produção.

Como já foi referido um dos grandes problemas que se colocava às implementações CIM era as chamadas “ilhas de automação”, quer já existissem ou fossem resultado da implementação. Como a estrutura do sistema CIM não contempla a existência de subsistemas isolados, foram sendo desenvolvidas e aplicadas tecnologias de interligação.

No entanto, uma das características que os sistemas de comunicação devem ter é a capacidade de diminuição de diferenças estruturais, organizacionais e culturais, o que em última instância pressuporá conversações e negociações automáticas, flexíveis e sub-especificada. O sistema de comunicações dum sistema CIM não evidencia estas características, pois o conceito advoga pré-especificação, determinismo e optimização.

2.4.2.3 Gestão da informação

Uma das mais importantes características do conceito é a gestão da informação. Este pressupunha a integração de toda a informação em bases de dados centralizadas, acessível e disponível em função de restrições associadas. Estas restrições já então consideravam as autorizações do utilizador no sistema, por forma a condicionar o acesso à informação, que se traduz em permissão ou recusa de manipulação desta a vários níveis (e.g. escrita, alteração, consultas, etc.). A coerência, utilidade e eficiência na gestão da informação são garantidas conceptualmente pela centralização e pela optimização, especificados aquando do projecto.

A necessidade de distribuição e descentralização, conduz à necessidade de interligação e de entendimento mútuo entre entidades heterogéneas, pelo que a comunicação de informação só faz sentido se emissor e receptor a compreenderem da mesma forma e independentemente do contexto. No entanto, a semântica, a independência contextual, o comportamento e a pragmática da informação (elementos que caracterizam o conhecimento), não são de todo comportáveis pelo conceito de CIM tradicional.

¹⁶ Em terminologia portuguesa, “*wrapper*” significa capa ou disfarce.

2.4.2.4 Flexibilidade e Reactividade

Flexibilidade significa capacidade de alteração eficiente de tarefas na planta fabril, enquanto reactividade pressupõe resposta rápida e automática a alterações no contexto de operação. O conceito CIM foi desenvolvido num contexto de produção em massa no qual as alterações na produção eram reduzidas, podendo o sistema ser otimizado ao longo de longos períodos de tempo, sendo a optimização dum conjunto fixo e reduzido de actividades o ponto fulcral.

Embora os sistemas de CIM em certa medida já se preocupassem com capacidade de reacção e a facilidade de alteração de funcionalidades, na realidade estes elementos não são prioritários.

2.4.2.5 Coordenação de competências

Esta necessidade surge nos sistemas modernos de produção devido às alterações constantes de produção e de entidades produtivas. O sistema CIM, centralizado e orientado para a fiabilidade e optimização para um conjunto fixo de tarefas, pressupõe regras e pontos de coordenação previamente definidos e fixos, impondo limitações de coordenação adaptativas e descentralizadas.

Além do mais, aquando da definição dos requisitos tecnológicos, foi defendida a necessidade de inclusão nos sistemas produtivos de mecanismos de coordenação de competências e actividades. Para isso, defendia-se que tais mecanismos não deveriam ser implementados como mecanismos de controlo central, mas deveriam isso sim, ser atribuídos às diversas entidades. Ora o conceito CIM não é um sistema descentralizado, não pressupõe coordenação mas sim controlo hierárquico fixo e autoritário, pelo que não é de todo uma solução viável.

2.4.2.6 Modularização

Os sistemas CIM são de grande dimensão, monolíticos, centralizados e optimizados para um conjunto fixo de actividades. Qualquer tentativa de modularização é completamente impossível tendo em consideração tais características.

Se além disso as necessidades funcionais inerentes à modularização (2.3.3.6), como facilidade de desenvolvimento e alteração e definição de actuações no momento da operação, são completamente contrárias à optimização imposta pelo conceito.

2.4.2.7 Sub-especificação

Os sistemas CIM são optimizados para um conjunto fixo e bem definidos de actividades, pelo que a propriedade de sub-especificação não é observável neste tipo de sistema.

Com a exclusão do ser humano da planta fabril, o requisito de sub-especificação fica ainda mais distante de ser atingido, no sentido em que o ser humano poderia ter um papel de complementação do sistema tecnológico em situações imprevistas ou não completamente definidas.

2.4.2.8 Modelação de entidades físicas em entidades lógicas

A modelação de entidades físicas em entidades lógicas necessita da modularização, que como já foi referido, não é viável, pelo que este requisito não é possível em sistemas baseados no conceito de CIM.

2.4.3 Conclusões sobre o conceito de CIM

Em função das análises e considerações apresentadas, apenas alguns dos requisitos são parcialmente suportados pelo conceito de CIM, e portanto dificilmente este será considerado o ideal de organização tecnológica da empresa do futuro.

O conceito de CIM e o tipo de organização que lhe está associada, é porventura o mais conhecido de todo aqueles que advogam organização e controlo hierárquico e centralizado.

Este tipo de sistemas são investimentos enormes quer em termos financeiros quer em termos políticos, e casos há que poucos anos de vida têm. Nesses termos as empresas não os podem dispensar de um momento para o outro, antes têm de os adaptar às realidades.

E a realidade hoje em dia não é ainda a da empresa virtual, talvez a empresa estendida, caracterizada pela troca de informação técnica por métodos e formatos standardizados, mas onde a integração e negociação automatizada ainda não são correntes.

A estratégia apresentada aquando da discussão sobre o requisito de distribuição (2.4.2.1), é uma potencial solução para esta fase de evolução de estratégias de mercado, pois permite a continuação de operação do sistema como até aqui, e permite à empresa dar os primeiros passos nas novas abordagens de mercado. No entanto esta estratégia não é livre de custos, já que o desenvolvimento das aplicações de interface será algo substancialmente complexo e demorado. A juntar a questões económicas há que considerar os riscos funcionais e operacionais, pois tais aplicações deverão comportar-se como entidades funcionais da empresa, com (muitos) direitos e competências de manipulação de informação, o que corresponde à distribuição de potenciais falhas de segurança por várias entidades.

Apesar dos princípios e pressupostos inerentes ao conceito estarem ultrapassados, o termo continua a ser usado. O seu foco de interesse deixou de ser a centralização, automatização e optimização, mas sim de integração de conhecimento da empresa, o que vem de encontro às expectativas e exigências dos novos sistemas produtivos.

2.5 Conclusões

Como os produtos incluem cada vez mais tecnologias no seu fabrico, as empresas não têm competência tecnológica interna suficiente e são levadas a contratar ou criar parcerias com empresas competentes em actividades que ela própria não domina. Por outro lado, os clientes

esperam cada vez maior variedade na oferta, o que leva as empresas a desenvolver mais produtos ou variações destes e cada vez em menor espaço de tempo.

No sentido de responder mais eficazmente a estes factores, as empresas optam por estratégias de cadeias de fornecimento. Estas expandem-se e tornam-se um facto indissociável da evolução dos sistemas de produção, a ponto de se tornar difícil definir os limites de cada empresa tal é a interligação e dependência mútua. Este e outros conceitos equivalentes foram analisados e compilados numa definição de empresa virtual, por forma a melhor descreverem a nossa visão do problema.

Várias fases do ciclo de vida do produto terão de modificar o seu funcionamento, entre elas o projecto e a operação. Os desafios colocados por estas evoluções ao nível dos sistemas de fabrico são grandes e implicam não só alterações organizacionais como um incremento e especialização tecnológica. Analisando os desafios apresentados, alguns requisitos de funcionamento dos sistemas produtivos e respectivas tecnologias da informação são apresentados. Os termos chaves destes requisitos são Comunicação, Informação, Modulação e Sub-especificação, Reactividade e Flexibilidade, Cooperação e Coordenação e ainda Modelação e Simulação.

No sentido de justificar a necessidade de mudança em termos organizacionais e tecnológicos, descreveu-se sumariamente o conceito de CIM e confrontaram-se a suas propriedades e comportamentos com aqueles preconizados pela empresa do futuro. As conclusões foram claras, os sistemas baseados naquele conceito não se adaptam aos requisitos apresentados, e nesse sentido parece pouco provável a sua adaptação futura.

Será necessário portanto, a adopção de novos conceitos organizacionais que respondam às necessidades dos novos sistemas. Assim, tendo em consideração os requisitos anteriormente definidos, apresentar-se-á no próximo capítulo algumas abordagens possíveis de serem utilizadas.

Capítulo 3

PROPOSTA

"Os vencedores do amanhã terão características bem diferentes das dos vencedores de hoje." - Lester C. Thurow in "The Future of Capitalism"

"Assim que o conhecimento se tornar na mais importante propriedade da companhia do futuro, dar-se-ão significativas alterações na economia tal como a conhecemos." - National Center for Manufacturing Sciences, "NCMS Collaborative Manufacturing Agenda"

No início dos anos 80, quando se previa um aumento tecnológico em grande escala, que invadiria todas as tarefas e áreas de actividade, generaliza-se a aplicação de novos conceitos e filosofias nos sistemas de produção. Um desses conceitos é o CIM¹, que tinha como pressuposto fundamental, que todos os problemas duma empresa poderiam ser resolvidos tecnologicamente, centralizando as actividades, automatizando a planta fabril e controlando o processo electronicamente, o que permitia, sem ser um objectivo, a redução substancial da dependência da fábrica pelo ser humano.

¹ CIM - *Computer Integrated Manufacturing* ou em terminologia portuguesa: Produção Integrada por Computador.

Contudo, vários factores pressupostos nas tendências evolutivas falharam categoricamente: a tecnologia não evoluiu como se esperava, nomeadamente no que se refere à automatização de tarefas mecânicas; o homem e a tecnologia quando vistos sobre o ponto de vista de substituição mútua não funcionam em conjunto, e as condições de acesso à tecnologia por parte da fábrica não são sempre economicamente vantajosas.

Por outro lado, os requisitos colocados pela evolução dificilmente serão garantidos pelos sistemas tecnológicos tradicionais tal como os conhecemos: isolados, dificilmente interligáveis e tecnologicamente incompatíveis.

Mesmo quando se refere a *sistemas CIM*², integrados, incorporando capacidades de comunicação e pressupondo uma visão geral e integrada das actividades e negócio, as perspectivas não são muito melhores, já que tais sistemas porque são centralizados e porque funcionalmente se baseiam em comandos *master-slave*, não são flexíveis, não são moduláveis, não traduzem a estrutura do sistema físico e consequentemente não se coadunam com as necessidades expostas.

Mas então, que abordagens existem e fazem sentido?

Este capítulo dedica-se essencialmente a responder a esta questão. Numa primeira fase apresentam-se propostas alternativas, descrevendo-se as suas características estruturais e funcionais, e comparando-as com os requisitos definidos. Finalmente, justifica-se a escolha

3.1 Sistemas de Produção baseados em Agentes

Apresenta-se nesta secção uma proposta de organização e abordagem tecnológica. O conceito designa-se Sistemas de Produção baseados em Agentes (AMS)³, e como o seu nome indica, o elemento principal do conceito é o Agente. Agente e Sistema Multi-Agente (MAS)⁴ são termos que derivaram dos conceitos, terminologia e modelos desenvolvidos no âmbito da Inteligência Artificial (IA), especificamente no ramo da Inteligência Artificial Distribuída (IAD). A sua utilização em ambientes industriais foi referida no final dos anos 80 aquando das constatações de que os sistemas CIM tradicionais não respondiam eficazmente às necessidades existentes, e de que dificilmente se adaptaria aos requisitos então emergentes. Em 3.1.1 descreve-se o conceito de Agente suas características e comportamento e em seguida (3.1.2) apresenta-se o conceito de Sistemas Multi-Agente por comparação com Agente. Seguidamente analisam-se pormenorizadamente diversas definições, e descrições de sistemas, o que possibilita a apresentação e sistematização de características e funcionalidade do conceito e dos sistemas resultantes.

² Entende-se *sistema CIM*, como um conjunto de tecnologias e funcionalidades desenvolvidas e que operam segundo o conceito CIM.

³ Da terminologia anglo-saxónica *Agent-Based Manufacturing Systems* (AMS).

⁴ Da terminologia anglo-saxónica, *Multi-Agents Systems* (MAS).

3.1.1 O que é um Agente?

Infelizmente não há uma resposta universalmente aceite para este termo, essencialmente sobre o ponto de vista tecnológico. Desde que o conceito de agente surgiu⁵ que os investigadores tentam encontrar uma definição consensual e genérica do termo. Um dos mais interessantes e referidos artigos sobre este tema é “*Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents*” [Franklin, 96], onde se discute as diferenças entre um agente e um programa, entre subagente e multi-agente, colocando em causa e analisando várias definições de vários autores e empresas conceituadas.

Praticamente todos os artigos sobre sistemas baseados em agentes tentam definir com mais rigor o termo agente, o que faz com que haja variadíssimas definições em função do proponente e da área disciplinar de utilização (e.g. IA, Sistemas Distribuídos, Sistemas de Produção, Sistemas de Informação, Psicologia: Ciências Cognitivas). Em qualquer artigo, tentam-se focar as mais importantes características do seu agente, desleixando outras que naquela situação não são prioritárias, e há mesmo casos em que as mais elementares características duns não são verificadas noutros.

Se esta constatação evidencia o facto da definição estar longe de ser universal, será que pelo menos quando se estiver na presença dum agente, se reconhece e se aceita universalmente este como tal?

3.1.1.1 Caracterização intuitiva

Quando se iniciou este trabalho, agente era visto como um ser humano, era considerado uma entidade que representava outra entidade que por algum motivo não tinha capacidade para o fazer.

O dicionário de língua portuguesa define agente como uma “pessoa encarregada de praticar certas operações materiais por outrem”.

O dicionário de inglês por sua vez define agente como “uma pessoa que actua por outra em negócios, política, etc.”

Segundo o Dicionário de Ciência e Tecnologia da Academic Press, o termo agente tem origem na inteligência artificial e “é um programa independente que actua na tentativa de atingir um objectivo para um utilizador ou outro programa”.

Na abordagem deste trabalho, agente deve ser visto sempre como uma tentativa de modelação de características e cópia de comportamentos dos agentes humanos tal como os conhecemos na sociedade.

E o que é um agente sobre o ponto de vista social?

⁵ Em 1970, Marvin Minsky iniciou a formulação da teoria “*The Society of Mind*”, na qual defende que a inteligência não é o produto de um qualquer mecanismo simples mas sim da conjugação duma grande variedade de agentes expeditos.

Sem obedecer a qualquer formalismo, agente é um indivíduo que representa e tem um conjunto de competências sobre outro indivíduo em determinadas situações sobre determinados assuntos. Se considerarmos um ser humano que é vulgarmente requisitado (e.g. um desportista ou um actor), é normal este ter um agente que o representa e que tem direitos e competências para negociar determinados aspectos da sua vida profissional, tendo a obrigação de satisfazer determinados requisitos impostos pelo indivíduo em contrato ou outro tipo de acordo. O agente tem a função de auscultar o ambiente de trabalho, estando atento a potenciais oportunidades de negócio, por forma a satisfazer mais e melhor os requisitos do “cliente”.

Socialmente, Agente é portanto um indivíduo competente⁶ que representa, substitui e que tenta satisfazer o cliente em determinados aspectos da sua existência para os quais foi incumbido.

Destas definições genéricas constata-se o facto de agente exercer actividades específicas em favor de outrem em determinadas situações. Depreende-se e aceita-se ainda que a entidade que actua tem independência nas acções e escolhas, daí poder dizer-se autónoma. Aliás, **Autonomia** é talvez a única característica do conceito de Agente que é universalmente⁷ aceite.

Franklin [Franklin, 96], depois de analisar várias e definições substancialmente distintas de agente, tenta agrupar numa única definição as características fundamentais de **Agente Autónomo**. A sua definição defende que “agente autónomo é um sistema situado ou fazendo parte dum ambiente, que sente e actua nesse ambiente ao longo do tempo na prossecução dos seus objectivos e que influencia por isso o que irá sentir no futuro”.

No entanto, com a continuação da validação da definição, é o próprio a admitir que a definição é demasiado genérica e sem utilidade prática, visto poder incluir entidades ou objectos não desejáveis tal como uma bactéria ou mesmo um interruptor. Bactéria pode ser considerada um agente já que é uma entidade autónoma que realiza actividades em função do que sente, e actua de forma a influenciar o que sentirá no futuro.

O Agente deve ter a capacidade de reconhecer objectivos diferentes ao longo da sua existência e em função do contexto alterar a sua actuação. O Agente é portanto mais que um objecto que tem um conjunto de características físicas e comportamentais; o agente tem capacidade de alterar a sua percepção (conhecimento?) do ambiente e nesse sentido alterar a sua forma de actuar.

Apesar de todas as divergências e falta de consenso, no que respeita quer ao significado do termo quer às características que devem ser observadas, é fundamental que durante este trabalho exista uma definição que sirva de referência.

⁶ Entende-se “indivíduo competente” como um indivíduo que tem características que lhe permitem realizar determinadas actividades. Não está em causa a qualidade das actividades por ele realizadas.

⁷ No entanto, está longe de existir uma definição amplamente aceite de autonomia (ver I.2).

Assim, **“Agente é uma entidade capaz de interagir com outras entidades e com o ambiente em que se insere sentindo-o e alterando-o, e baseando-se no conhecimento que detém e adquire, não só reage a estímulos contextuais como define planos de actuação para atingir determinados objectivos definidos no seu conhecimento.”**

Com esta definição pretende-se inculir no agente não só a capacidade de pertencer a um ambiente com o qual interage, mas também capacidade de comunicação com outros agentes ou seres humanos, com os quais negocia e actua. Além disso, pretende-se que o agente tenha capacidade de adquirir, sistematizar e memorizar conhecimento, o qual influenciará não só o seu comportamento como também os objectivos e formas de os alcançar.

3.1.2 Sistema Multi-Agente

Esta secção tem por objectivo analisar a expressão Sistema Multi-Agente e relacioná-la com o termo Agente. Mais do que apresentar uma definição, pretende-se apresentar as características conceptuais que vão de encontro a muitos dos requisitos mencionados anteriormente, bem como questões relacionadas com a sua especificação e desenvolvimento.

Das várias definições de sistema encontradas salientam-se as seguintes:

“Sistema é uma reunião ou combinação de elementos ou partes que formam um todo complexo ou unitário.”

“Sistema é um conjunto de componentes interrelacionados que trabalham em conjunto por um objectivo comum.”

Assim, sistema é composto e caracteriza-se por:

- **Componentes**, que são as partes funcionais do sistema;
- **Atributos**, que são as propriedades e comportamentos dos componentes;
- **Relações** que são as inter-relações entre componentes.

Se se restringir a análise de sistemas ao caso específico da abordagem baseada em agentes, então, da reunião das duas definições anteriores, um **“Sistema Multi-Agente é um conjunto de agentes interrelacionados que trabalham em conjunto por um objectivo comum e que formam um todo complexo e unitário.”**

Um Sistema Multi-Agente pode ser considerado um agente em que os seus componentes são considerados subagentes. Seja *Agente com Subagentes* ou *Multi-Agente com Agentes*, qualquer das caracterizações é válida. A forma como o sistema deve ser analisado não é facilmente sistematizável pois cada sistema é um caso específico e a sua organização, estrutura e comportamento influenciam a abordagem. No entanto esta evidência permite inferir uma característica importante do conceito: a **recorrência**. Ou seja, um sistema é composto por

componentes que são (ou podem ser) também sistemas, o que conduzirá no limite para **recursividade**, em que um sistema é composto por diferentes “instanciações” dele próprio.

Assim, considera-se que Sistema Multi-Agente não é mais que um Agente composto por outros agentes ou entidades que formam um todo complexo e unitário com objectivos globais. Assim, qualquer característica ou comportamento associado ao conceito de Agente é válido em Multi-Agente⁸ e vice-versa.

3.1.3 Caracterização de agentes

A caracterização de Sistemas Multi-Agente bem como a sua classificação é um assunto tratado por diferentes autores sob diferentes perspectivas. Faz-se nesta secção uma descrição e análise das características e comportamentos fundamentais dos Sistemas Multi-Agente, tendo em consideração não só a bibliografia apresentada como também a experiência adquirida no decorrer do trabalho.

Sob um ponto de vista mais tecnológico, a definição de agente complica-se substancialmente já que as áreas de utilização prevêem muitos e distintos comportamentos que implicam outras tantas características. Pode-se por exemplo referir vários tipos de agentes, tais como animais, máquinas ou entidades computacionais, e todas têm diferentes características e comportamentos.

Alguns desses elementos normalmente encontrados nas definições de agente ou multi-agente incluem: Autonomia, Orientação a Objectivos, Colaboração, Flexibilidade, Auto-iniciação, Persistência, Carácter, Comunicação, Mobilidade, Adaptação [Etzioni, 94], Aprendizagem, Coordenação e Negociação.

Existem várias abordagens possíveis e distintas, nomeadamente aquela preconizada pela Inteligência Artificial (Distribuída), outra relacionada com o domínio dos sistemas de produção inteligentes, outra sobre o ponto de vista da gestão da informação em ambientes complexos e de grandes dimensões.

Para a FIPA⁹ agente é um módulo de *software* que tem as seguintes características:

- **Comportamento autónomo**, porque executa autonomamente determinadas tarefas num determinado ambiente;
- **Execução assíncrona**, porque um evento activa a execução de tarefas do agente;

⁸ Por abuso de linguagem, Multi-Agente significa Sistema Multi-Agente.

⁹ *Foundation for Intelligent Physical Agents* (em terminologia portuguesa: Fundação para Agentes Físicos Inteligentes). Esta entidade visa normalizar métodos e tecnologia referente à especificação e desenvolvimento de sistemas baseados em agentes, embora o seu foco de interesse seja os agentes físicos as suas propostas não deixam de ser válidas para outros tipos de agentes e a prova disso é a definição de agente como um “módulo de software”.

- **Comportamento Cooperativo**, pois o agente enceta cooperação com outros agentes por comunicação mútua baseada em mensagens;
- **Capacidade migratória**, pois o agente pode mover-se de e para qualquer computador na rede.

Já Wooldridge e Jennings [Wooldridge, 94], [Jennings, 98], no domínio da inteligência artificial distribuída, descrevem agente como uma entidade “inteligente” na qual se observam as seguintes características:

- **Autonomia**, já que é capaz de operar sem a intervenção directa de humanos ou outros agentes, e tem um certo controle sobre as suas acções e estado interno;
- **Sociabilidade**, pois interagem com outros agentes (e possivelmente humanos) por meio de algum tipo de linguagem de comunicação de agente;
- **Reactividade**, pois o agente está atento ao seu ambiente envolvente (que pode ser o mundo físico, um utilizador através duma interface gráfica, uma colecção de outros agentes, a *internet*, ou porventura todos estes combinados), e responde atempadamente às alterações que ocorrem neste;
- **Pró-actividade**, pois o agente não age apenas em resposta ao seu ambiente, pode também exibir um comportamento orientado aos objectivos, tomando a iniciativa.

Como se constata, as diferentes áreas de proveniência da investigação conduz à enumeração de características e comportamentos distintos dos agentes resultantes. Porém, as características referidas nestas duas abordagens são das mais amplamente aceites e utilizadas. A última definição é no âmbito deste trabalho das mais importantes e consideradas.

Nas secções seguintes, descreve-se e analisa-se o conceito de agente sobre diversos aspectos, nomeadamente estrutura, características e comportamentos observados, numa tentativa de clarificação do conceito.

3.1.3.1 Características Conceptuais Vs. Operacionais

Característica conceptual diz respeito a um elemento sem o qual determinada entidade não pode ser considerada abrangida pelo conceito. Muitas das características verificadas e sugeridas várias vezes para o conceito de agente não passam de características operacionais, ou seja, características que dizem respeito às actividades e formas de serem realizadas pelo agente.

Até agora a única característica conceptual definida é a autonomia. No outro extremo está a característica de Mobilidade, que é ao mesmo tempo uma das mais defendidas e criticadas características de agente. Segundo os críticos, uma entidade pode ser móvel tendo poucas características de agente, e pode ser estática e ser realmente um agente.

Contudo, qualquer condição operacional pode ser fundamental para a existência de determinado agente num ambiente específico, sem a qual o agente não poderá realizar as suas tarefas.

Exemplo: Um agente secreto poderá ser considerado como tal se não viajar pelo mundo a encontrar-se com espões e outros agentes secretos, desde que as suas funções sejam compatíveis com o uso do telefone, internet, e outras formas de comunicação que invalidam a necessidade de mobilidade. No entanto, a imobilidade do mesmo agente pode ser determinante para a sua actividade se se concluir que o contacto pessoal é indispensável. Esta determinação coloca a mobilidade com o estatuto de indispensável para aquele agente mas não implica que mobilidade seja característica conceptual de todos os agentes secretos.

Com esta descrição pretende-se alertar para que nem sempre uma característica operacional fundamental para um agente pode ser considerada conceptual.

3.1.3.2 Organização interna

Uma das formas mais básicas de organização e classificação do sistema diz respeito às competências e relações que são estabelecidas entre os agentes. Consideram-se três tipos:

- **Horizontal.** Na qual cada subagente é competente por um conjunto de actividades que vão desde os serviços mais genéricos e comuns nos agentes, (e.g. comunicação e “sentir” o ambiente) até às actividades mais específicas e caracterizadoras do agente. O sistema é constituído por um conjunto de elementos que se encaixam horizontalmente (Figura 1), sendo portanto capazes de cumprir por si só um conjunto de actividades, isto é, sem necessitarem de serviços prestados pelos demais.

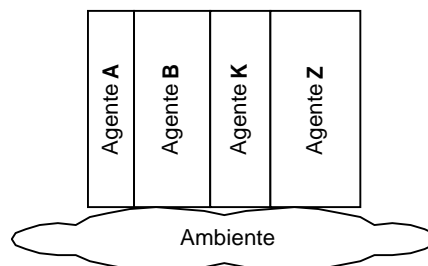


Figura 1 - Organização horizontal de Sistemas Multi-Agente

- **Vertical.** Neste tipo de estrutura o sistema é constituído por elementos que se agrupam verticalmente (Figura 2). As camadas mais baixas do sistema são responsáveis pelo fornecimento de determinados serviços aos agentes que se situam em níveis superiores da organização. Esta organização caracteriza-se pela definição de competências por níveis, o que conduz normalmente à especialização vertical ascendente, ou seja, poucos componentes genéricos nos níveis mais baixos, com crescimento do seu número e especificidade à medida que se sobe de nível. Neste tipo de organização, as competências estão divididas por níveis e agentes, o que implica que nenhum agente possa actuar sem recorrer aos serviços de outros.

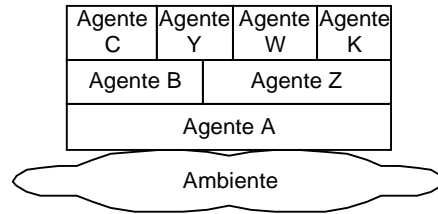


Figura 2 - Organização vertical de Sistemas Multi-Agente

- **Mista.** Neste tipo de organização, observam-se os dois tipos de estruturação: agentes auto-suficientes e agentes dependentes (Figura 3). As relações entre agentes incluem as referidas para os dois tipos anteriores de organização.

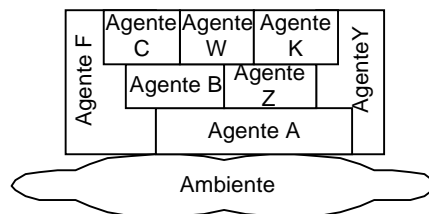


Figura 3 - Organização mista de Sistemas Multi-Agente

Outra forma de analisar a estrutura interna de agentes e sistemas de agentes é segundo as suas semelhanças comparativas. Distinguem-se três tipos possíveis [Parunak, 94]:

- **Idênticos.** Por norma, os agentes que constituem um sistema são bastante semelhantes, e excluindo o conjunto de funções que executam (o que os torna únicos) a sua estrutura e funções complementares são idênticas. Este tipo de sociedade é hoje em dia a mais comum pois os sistemas são em muitos casos desenvolvidos e destinados a ambientes e tarefas específicas e muito limitados no que toca a interligação com sistemas distintos;
- **Cabeça-corpo.** Agentes com este tipo de estrutura caracterizam-se por apresentarem funcionalidades e formas de as realizar distintas (corpo) mas que detêm um conjunto de funcionalidades comuns (cabeça). No que respeita às funcionalidade comuns, estas são relacionadas com as comunicações e outros aspectos sociais, e.g. conversações, cooperação e coordenação (ver 3.1.3.4). Este tipo de estrutura é usado essencialmente em situações em que os agentes interligam tarefas entre seres humanos.
- **Heterogêneos.** Agentes heterogêneos são aqueles em que as suas funcionalidades são claramente diferentes. Estas características implica que tais agentes tenham dificuldades acrescidas em conversar, compreender-se e estabelecerem outros tipos de relações sociais. Estes agentes são comuns em ambientes complexos e destinam-se a aplicações em que as conversações não são fundamentais (e.g. o Office Assistant das aplicações Microsoft Office, e pesquisadores de informação em ambientes complexos como a Internet).

Quanto mais idênticos os agentes são entre si, mais específicas as suas tarefas e mais distintas as formas de as realizar em comparação com outros tipos. Quanto mais distintos, mais dificuldade terão em apresentar comportamentos sociáveis¹⁰.

3.1.3.3 Actuação Reactiva Vs. Planeada

Esta caracterização baseia-se na forma de actuação do sistema, que tanto pode ser reactiva, planeada¹¹, reactiva e planeada em momentos diferentes, e ambas simultaneamente (Figura 4). A forma de actuação do agente pode ser estática ou dinâmica, e depende das suas capacidades no que se refere a formas de actuação e de adaptação às situações emergentes.

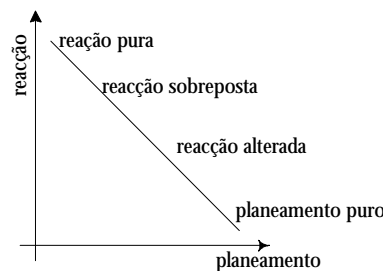


Figura 4 - Actuação do sistema: Reacção Vs. Planeamento

É possível, isso sim, que o agente (ou sistema) tenha simultaneamente atitudes reactivas e planeadas mas em actividades (papeis¹²) distintas.

Os tipos fundamentais de actuação são os seguintes:

- **Actuação baseada em Reacção.** Esta é a forma mais simples já que as diferentes situações e atitudes são previamente definidas e não se alteram com o decorrer da operação. O agente actua em função do que “sente” do ambiente e das funções previamente definidas para essa situação. Caracteriza-se por:
 - ♦ **Rapidez de resposta;**
 - ♦ **Completa inflexibilidade;**
 - ♦ **Nenhum planeamento;**
 - ♦ **Optimização limitada pela especificação;**

Este tipo de sistemas é vocacionado para situações em que o conjunto de actividades seja limitado e a velocidade de resposta fundamental, e.g. montagem automatizada de componentes, controle de produção e escalonamento em tempo real (e *on-line*).

¹⁰ Sociáveis e não sociais. Dois agentes podem ter comportamentos sociais avançados, contudo distintos. Tais agentes não são mutuamente sociáveis.

¹¹ Por “actuação planeada” entenda-se “actuação baseada em planeamento”.

¹² Da terminologia anglo-saxónica (*actor*) *role*

No sentido de diminuir estas limitações, desenvolveram-se estruturas que permitem que a actuação não seja apenas reactiva mas incorpore planeamento. Os casos mais comuns são:

- ◆ **Sobreposição de reacção.** Neste tipo de actuação o sistema tem dois módulos a trabalharem simultaneamente e em paralelo mas sem qualquer ligação: o módulo de reacção e o de planeamento. O módulo reactor continua a ter o papel principal de decisão e actuação, no entanto o módulo de planeamento pode redefinir as decisões do reactor sempre que discordar, impondo actuações em conformidade com os seus planos. No sentido de melhorar o desempenho, o módulo de planeamento poderá guardar em memória situações anteriores em que sobrepôs a decisão do reactor, por forma a que no futuro, numa situação idêntica, a sobreposição de decisão seja mais rápida.
- ◆ **Reacção modificada pelo planeamento.** A diferença para o anterior verifica-se na interligação dos dois módulos. Neste tipo, os dois módulos estão interligados e antes de qualquer decisão, os dois módulos concertam decisões. Em resumo é um sistema baseado em dois módulos interligados que funcionam como um único. E porque o planeamento tem capacidade de memorização de situações anteriores a decisão concertada é substancialmente mais rápida que no anterior.
- **Actuação baseada em Planeamento.** A actuação baseada em planeamento caracteriza-se por tentativas de melhoramento do desempenho global do sistema ou do agente, remetendo para segundo plano a velocidade de resposta aos acontecimentos.
 - ◆ **Baseado em Raciocínio;**
 - ◆ **Optimização;**
 - ◆ **Fiabilidade.**

Em termos industriais é utilizado em actividades de projecto e planeamento de produção com horizonte temporal não imediato.

3.1.3.4 Caracterização social

Outra forma de caracterizar os Sistema Multi-Agente é sob ponto de vista social, ou seja estudar o sistema como constituindo ou pertencendo a uma **sociedade** ou **comunidade de agentes**. Esta abordagem analisa o Sistema Multi-Agente pelo nível de sofisticação de atitude social que os agentes demonstram. Atitude social é o conjunto de comportamentos que tornam o agente aceite e participante numa sociedade. Apresentam-se de seguida cinco dos elementos que mais condicionam a sociabilidade do agente.

3.1.3.4.1 Conversações

Conversação pressupõe sucessão ordenada e limitada de trocas de mensagens entre dois ou mais agentes com um objectivo específico. Segundo [Bradshaw, 97], “conversação é uma sequência de mensagens entre dois agentes num período de tempo que pode ser arbitrariamente longo, porém limitado por certas condições de terminação”.

Esta característica é normalmente verificada entre agentes, no entanto o grau de complexidade e versatilidade evidenciados não pode ser generalizado, variando desde a simples troca de dados numéricos de controlo, até complexas conversações envolvendo vários agentes.

A capacidade de participação em conversações é directamente influenciada por um conjunto de elementos e regras elementares, entre as quais se destacam:

- **Linguagem**, é o elemento mais importante da comunicação entre agentes independentes. A linguagem é um conjunto de símbolos, expressões e regras de construção de mensagens. À imagem do que acontece com as linguagens humanas, não basta o conhecimento da sintaxe da linguagem, existe o conhecimento inerente aos dados transmitidos, que difere de domínio para domínio e de holon para holon. Ou seja, o conteúdo da mensagem transmitida varia independentemente da linguagem usada. Assim, a definição ou adopção duma linguagem lida com duas dimensões:
 - ♦ **Complexidade Vs. Capacidade**. A linguagem de comunicação deverá ser facilmente compreensível e ao mesmo tempo deverá ser capaz de descrever uma vasto leque de conhecimento, à imagem do que acontece com as linguagens de comunicação humanas;
 - ♦ **Versatilidade Vs. Ambiguidade**. A linguagem deverá ser capaz de representar e transmitir diversos tipos de conhecimento em função do domínio de discurso, mantendo ao mesmo tempo um conteúdo claro e inequívoco. Pelo contrário, quanto mais complexa e ao mesmo tempo “liberal”¹³ for a linguagem usada, maiores serão as possibilidades e facilidades de comunicação de conceitos e informação;
- **Ontologia**, corresponde à definição de significado e conhecimento mútuo¹⁴ de termos e expressões num dado domínio de conhecimento ao qual a conversação está associada. A definição de ontologia do domínio da tarefa permitirá aos agentes intervenientes o domínio do conhecimento associado à informação;

3.1.3.4.2 Coordenação

Numa sociedade, as regras e formas de relacionamento são definidas por princípios básicos e genéricos. A forma como uma sociedade regula e mantém o seu funcionamento em situações não previstas, e por vezes adversas, é definida a um nível de conhecimento elevado no qual são definidas regras de actuações. Os intervenientes, devem ter a capacidade de regulação do seu funcionamento baseando-se em conhecimento genérico, sobre o qual são desenvolvidos e refinados planos de actividade e de cooperação dos agentes e entre eles. A capacidade de auto regulação de funcionamento (e de manutenção da vitalidade) do sistema caracteriza a sociedade e por conseguinte o Sistema Multi-Agente.

¹³ Liberal, mas sem fugir ao rigor.

¹⁴ Mútuo significa que se faz entre duas ou mais entidades.

3.1.3.4.3 Cooperação

A atitude social está intimamente ligada à forma como os indivíduos se inserem na comunidade e coordenam as suas actividades. No entanto, um indivíduo que vive “geograficamente” numa comunidade e tenha condições “técnicas” de se relacionar socialmente, não tem forçosamente atitude social e não pertence necessariamente à comunidade. Para se inserir na comunidade o indivíduo necessita de fornecer bens e serviços à comunidade e consumir outros da mesma. Considera-se neste trabalho que qualquer entidade sociável deve ser cooperativa¹⁵, ou seja deve realizar tarefas em conjunto fornecendo e consumindo bens e serviços na comunidade.

Consideram-se seis níveis de cooperação, mencionados por ordem crescente de sociabilização, de complexidade e versatilidade:

- **Reacção.** O agente detém um conjunto fixo de estados e mensagens que provocam a alteração de estado, bem como as acções a executar no processo. Esta estrutura é vulgarmente modulada por autómatos finitos ou por redes de Petri;
- **Direcção.** Neste tipo de interacção, existe definida uma hierarquia entre os agentes de forma que uns emitem ordens e outros cumprem-nas. Por vezes este tipo de interacção é confundido com a anterior. Um sistema baseado neste tipo de cooperação ou organização não pode ser conceptualmente considerado um Sistema Multi-Agente, pois a autonomia dos agentes é perdida;
- **Votação.** Os diversos agentes do sistema determinam o funcionamento do sistema através de votação (planos, actividades, etc.). Este sistema raramente é usado;
- **Negociação.** Os diversos intervenientes na realização duma tarefa, participam na negociação que definirá quem, quando, como ou com que custo uma tarefa será tratada. O protocolo que gere as interacções é previamente definido e fixo. De todos, o mais divulgado é o *Contract Net Protocol* de Davis e Smith [Davis, 83];
- **Propagação de restrições.** Os diversos agentes intervenientes na negociação recebem planos ou decisões de outros agentes, os quais refinam e adicionam restrições segundo os seus objectivos e capacidades. O processo repete-se para todos os intervenientes;
- **“Speech Acts” (Conversações).** Esta abordagem surgiu inicialmente na Inteligência Artificial Distribuída, mas tem vindo rapidamente a alastrar-se a outras áreas de especialização. Como se baseia na capacidade de raciocínio, as negociações são sub-especificadas e dinâmicas. A actuação do agente é definida segundo os resultados dos diálogos e estes como actividades que são, sofrem alterações e ajustamentos enquanto decorrem. Esta é de todas a abordagem mais flexível, mas também a mais difícil de atingir, visto que pressupõe uma grande capacidade de raciocínio, que é aliás outro dos grandes desafios que se colocam.

¹⁵ Não sendo a cooperatividade uma propriedade conceptual obrigatória do Sistema Multi-Agente, devido aos objectivos deste trabalho, que passa pela criação duma comunidade de holons que cooperam no sentido de realização de tarefas, esta descrição parece razoável e compreensível.

3.1.3.4.4 Ser Humano Vs. Agente

O ser humano é uma parte integrante de muitos ambientes onde o agente deverá viver. Nem sempre a relação entre o ser humano e a tecnologia é fácil e compensadora. A tecnologia baseada em agentes para além da tradicional abordagem de substituição ou representação, traz algo de novo: a complementarização. Apresentam-se de seguida as três abordagens:

- **Substituição.** O sistema vê o ser humano como um agente com quem tem de comunicar e interagir. Os agentes são vistos como sistemas complexos e inteligentes capazes de manter uma relação evoluída com o ser humano. Como é compreensível esta é uma abordagem ainda pouco utilizada em tarefas que exijam grande poder de decisão e conversações com outros seres humanos, devido a várias limitações, nomeadamente quanto à sofisticação do raciocínio, linguagens e ontologias;
- **Representação.** O agente é visto como representante do ser humano, automatizando e facilitando as suas tarefas. O ser humano não é visto como tal no sistema, apenas é reconhecido o seu agente. É portanto semelhante à abordagem referida em 3.1.3.2 (Cabeça-Corpo). Esta abordagem tem vindo a ser utilizada mais vulgarmente que a anterior;
- **Complementaridade.** O agente e o ser humano são vistos como complemento mútuo, no sentido em que o agente é subordinado do ser humano, mas tem autonomia suficiente para definir os seus planos e actuar em determinadas situações. No entanto a sua função mais nobre é a de fazer o acompanhamento das actividades do ser humano sugerindo alternativas ou planos de actuação. Mais uma vez o exemplo recai no Office Assistant das aplicações Microsoft Office.

3.1.3.4.5 Tecnologias existentes

O aparecimento e expansão do uso de normas permite aos agentes adquirirem capacidades sociais extensas. Entre essas normas referem-se as linguagens (e.g. ACL¹⁶ da FIPA, ou *speech acts*), linguagens de comunicação (e.g. KQML¹⁷ e COOL¹⁸), formatos de codificação de informação (e.g. KIF¹⁹). O uso de ontologias verificadas e validadas por organizações com créditos no domínio podem ser refinadas para casos específicos, o que facilita e garante desde logo coerência e qualidade no desenvolvimento e na implementação. Os mecanismos de cooperação são normalmente protocolos de comunicação predefinidos e estáticos (e.g. *Contract Net Protocol*), mas têm vindo a ser experimentados e cada vez mais usados, linguagens de cooperação mais liberais e baseadas em incerteza.

¹⁶ ACL - *Agent Communication Language*, ou em terminologia portuguesa, Linguagem de Comunicação de Agente.

¹⁷ KQML – *Knowledge Query Manipulation Language*, ou terminologia portuguesa, Linguagem de Interrogação e Manipulação de Conhecimento.

¹⁸ COOL - *Coordination Language*, ou em terminologia portuguesa, Linguagem de Cooperação.

¹⁹ KIF – *Knowledge Interchange Format*, ou em terminologia portuguesa, Formato de Troca de Conhecimento.

Com a generalização, liberalização e sub-especificação de protocolos, mecanismos e linguagens, as capacidades sociais dos agentes tornar-se-ão genéricas e potencialmente dinâmicas, o que permitirá cada vez mais interligar e constituir sociedades e sistemas com agentes heterogêneos.

3.1.3.5 Caracterização racional²⁰

Raciocínio é o elemento mais complexo e mais determinante na actuação do homem, sendo o seu grau de sofisticação condicionante e limitativo das suas características e comportamento. Uma vez que o objectivo máximo deste paradigma ("baseado em agentes") é a especificação e desenvolvimento de agentes à imagem comportamental do ser humano, então, em última instância de evolução, o agente tem de modelizar certas características humanas mesmo que insipientes.

Os principais níveis de raciocínio descritos na bibliografia são, por ordem de complexidade:

- **Reactivos(Sentir – Reagir).** O agente atenta sobre o ambiente em que está inserido e reage em conformidade com as regras especificadas na sua implementação. São agentes muito simples que não têm qualquer sentido de objectivos próprios ou do sistema em que está inserido. O próprio agente domina todas as actividades necessárias para realizar as suas funções, pelo que é comum terem uma estrutura/organização horizontal. Visto sob um ponto de vista computacional este tipo de agentes são simples autómatos finitos: um conjunto finito de estados possíveis e suas interligações (possibilidades de alteração de estado), e acontecimentos que motivam tais alterações;
- **Conscientes²¹.** Estes agentes têm conhecimento da existência de outros semelhantes, com os quais podem comunicar através de linguagens rudimentares e protocolos básicos e altamente estáticos. Podem também ter incluídos mecanismos simples de interligação e regulação de actividades que poderão conduzir, em última instância evolutiva, a capacidades de cooperação e flexibilização de actividades entre agentes.
- **Sociáveis.** Tais agentes deverão ter capacidades de comunicação e conversação versáteis. Devem ter consciência dos objectivos globais do sistema, dos estados, planos e objectivos dos outros agentes. Estes Sistemas Multi-Agente têm capacidade de cooperação e coordenação de actividades e planos.
- **Inteligentes.** Estes agentes são o expoente máximo do desenvolvimento do raciocínio. Devem encetar negociações, propor e aceitar contratos e outros compromissos, aprender e finalmente apresentar capacidades de actuação espontânea (sem intervenção ou acontecimento exterior).

Como se constata, o nível de raciocínio evidenciado condiciona muitas das características anteriormente mencionadas, nomeadamente no que se refere a sociabilidade e formas de

²⁰ Que diz respeito ao raciocínio.

²¹ Da terminologia anglo-saxónica *Self-consciousness*.

actuação. Quanto mais desenvolvidas forem as capacidades de raciocínio, mais capaz, flexível e ágil será o agente.

3.1.4 AMS: Características Vs. Requisitos

Faz-se nesta secção a confrontação de requisitos apresentados para os novos sistemas de produção com as características e comportamentos esperados para os sistemas de agentes, e em particular exploram-se as potencialidades dos sistemas de produção baseados em agentes (AMS).

Como já anteriormente foi realizado para o conceito de CIM, também agora se inicia a confrontação apresentando os requisitos descritos em 2.3.3 e que são:

- Distribuição e Descentralização;
- Comunicação;
- Gestão da informação;
- Flexibilidade e Reactividade;
- Coordenação de competências;
- Modularização;
- Sub-especificação;
- Modelação de entidades físicas em entidades lógicas.

3.1.4.1 Distribuição e Descentralização

Um Sistema Multi-Agente é um sistema distribuído por natureza, pois as suas funcionalidades são distribuídas por diversos agentes no sistema.

No entanto, como descentralização significa multiplicação da mesma competência por várias entidades, embora possível, não é uma característica conceptual. Ou seja, um Sistema Multi-Agente pode ser descentralizado se o sistema modelizado permitir e a especificação e a implementação assim o entenderem, no entanto nenhuma característica conceptual obriga a isso.

3.1.4.2 Comunicação

Uma das características que mais condiciona as prestações e funcionalidades do Sistema Multi-Agente é a sociabilidade. Como já foi referido, esta característica implica a capacidade de interacção, de comunicação e de conversação entre os vários agentes. Um agente sociável caracteriza-se por encetar e participar em conversações e negociações com outros agentes, a fim de participar na sociedade com o fornecimento e consumo de bens e serviços. As comunicações são assim parte integrante e fundamental dum Sistema Multi-Agente e o uso de protocolos e conversações cada vez mais genéricos e baseados em conhecimento dinâmico facilitam a comunicação e sociabilização do agente. Trata-se portanto de formas de

comunicação avançadas, onde as questões relacionadas com aspectos físicos são residuais, num todo onde a capacidade de fornecimento de mecanismos de compreensão, conversação, negociação, entendimento e de diminuição de diferenças culturais entre as várias entidades são fundamentais.

Nesse sentido, esta é uma abordagem que garante os requisitos colocados às comunicações.

3.1.4.3 Gestão da informação

O Sistema Multi-Agente caracteriza-se pela distribuição de informação por várias entidades responsáveis e competentes na sua gestão. A quantidade e grau de complexidade da informação que cada agente dispõe é distinto e pode variar desde a representação de simples estados internos do agente até à representação e modelação de ambientes e outros agentes complexos, planos de actividades, conhecimento, etc.

No limite, os agentes inteligentes terão capacidades avançadas de representação das suas próprias características, capacidades, objectivos e planos, modelizarão o ambiente e os seus intervenientes, e terão perfeita noção do conhecimento associado a cada domínio em que actuam.

Estes elementos caracterizam a informação e tornam-na independente de factores passageiros como o local, o momento, o contexto, o utilizador ou o autor.

O conceito multi-agente contém então capacidade evoluída de representação da informação, o que associado à descentralização, capacidade de comunicação, competência de acções e autonomia, forma um conjunto de características abrangentes que o tornam altamente vocacionado para a gestão de informação por domínios e onde a necessidade de interligação é muito grande. Agora que se começa a referir a insuficiência da gestão da informação e se passa a focar a atenção na gestão do conhecimento, esta abordagem ganha ainda mais importância.

No entanto, problemas relacionados com incoerências, inutilidade e ineficiência não são referidos pelo conceito de multi-agente, pelo que esses requisitos terão de ser garantidos pela especificação e implementação.

3.1.4.4 Flexibilidade e Reactividade

A caracterização de agente (inteligente) de Wooldridge e Jennings [Wooldridge, 94] refere que este deve ter um comportamento autónomo, sociável, reactivo e pró-activo.

Se tivermos em consideração esta abordagem, e refira-se que é uma das definições mais amplamente aceites e utilizadas na comunidade científica, então o requisito de reactividade está garantido por natureza.

A Flexibilidade corresponde à capacidade do sistema em alterar eficientemente a execução de tarefas pela combinação das diferentes funcionalidades que as diferentes entidades do sistema fornecem. Utilizando a definição de Wooldridge e Jennings, verifica-se que um agente tem um comportamento sociável, o que implica fornecimento e consumo de bens e serviços na sociedade. Como tal, depende do agente fornecer e coordenar as suas actividades em função

das necessidades globais do sistema. Para isso o agente necessita de evidenciar características de cooperação, que como já foi referido anteriormente (3.1.3.4.3) não é uma imposição conceptual.

3.1.4.5 Coordenação de competências

A grande questão relacionada com este requisito é a necessidade de mecanismos que possibilitem a coordenação dinâmica das entidades que constituem o sistema, visando a formação dum todo único, objectivo e consistente²², ao mesmo tempo que possibilite a autonomia das entidades que constituem o sistema. Como tal, tem-se nesta questão uma dupla necessidade: autonomia das partes e coordenação global.

Por definição, um agente é uma entidade competente e autónoma em determinadas actividades que procura realizar de múltiplas formas, incluindo (mas não se limitando a) vários tipos de cooperação (Anexo I.6) na sociedade. Assim, os Sistemas Multi-Agente evidenciam grande facilidade na inclusão de mecanismos de organização e coordenação entre eles, mas conceptualmente não existem regras de coordenação especificadas, pelo que depende da especificação do sistema e da sua implementação.

3.1.4.6 Modularização

Ao contrário do que acontecia com a estrutura monolítica do sistema CIM o Sistema Multi-Agente, como o seu nome indica, é constituído por diversos módulos e portanto a modularização do sistema é uma premissa. Além do mais, e tendo em consideração as potenciais capacidades racionais de agente, a gestão da complexidade baseada na combinação de módulos é potencialmente mais eficaz.

3.1.4.7 Sub-especificação

Um Sistema Multi-Agente sub-especificado caracteriza-se pela definição de parte das suas actividades durante a operação e não completamente durante a especificação. No sentido de se definir um agente sub-especificado dois tipos de medidas podem ser tomadas, tal como já tinha sido referido em 2.3.3.7.

- Definição de modelos comportamentais e de actuação por grupos semelhantes de elementos do ambiente, como por exemplo: intervenientes, interacções, ocorrências. Esta forma de desenvolvimento, conduz à sistematização de competências e à reutilização de elementos;
- Desenvolvimento de mecanismos que possibilitem ao agente, a inferência em cada momento da actuação correcta baseando-se no princípio de que os estados, ocorrências e

²² Outro termo possível seria “otimizado”, no entanto sabe-se de antemão que a necessidade de sub-especificação é contrária à optimização. Com esse impedimento, optou-se pelo termo “consistente” no sentido em que se deseja que as várias entidade actuem na prossecução dos seus objectivos, em conjunto mas sem desvios significativos dos objectivos globais do sistema.

intervenientes, não são conhecidos em tempo de desenvolvimento. Racionalidade é portanto o ponto fundamental nesta forma de sub-especificação.

Embora as duas abordagens possam ocorrer separadamente, fazem muito mais sentido e delas se retiram maiores benefícios se a utilização for simultânea.

3.1.4.8 Modelação de entidades físicas em entidades lógicas

Agente é uma entidade definida por características e comportamentos próprios e específicos que a distingue do ambiente e de outras entidades. O agente é portanto a entidade que se definir, sendo como tal um modelo duma entidade real ou virtual. Nesse sentido o conceito de “baseado em agentes” apresenta-se como uma óptima abordagem, já que a correcta representação e distinção de entidades do sistema é realmente o ponto mais importante deste requisito.

A fidelidade da modelação está directamente relacionada com o grau de conhecimento inequívoco que se detém da própria entidade bem como da capacidade de representação desse conhecimento. Como tal é fundamental que a entidade física seja perfeitamente analisada e o seu comportamento sistematizado por forma a ser representado na entidade, sem contudo por em causa a sub-especificação.

A utilidade fundamental deste requisito está relacionada com as actividades de modelação e simulação de sistemas de fabrico e produtos. Como a modularização e modelação de entidades físicas em lógicas baseadas no conceito de agente possibilita a fácil alteração de características e comportamentos dos agentes sem a alteração do restante, então mais uma vez esta parece ser uma abordagem adequada.

3.1.4.9 Conclusões acerca da aplicabilidade de AMS

Verifica-se das descrições anteriores que o desenvolvimento de sistemas de produção baseados em Sistemas Multi-Agente fornece as condições necessárias para resposta aos requisitos definidos no Capítulo 2.

No entanto, por vezes as características conceptuais não impõem inequivocamente características e comportamentos que suportem os requisitos apresentados, o que significa que o conceito é suficientemente amplo para se definirem comportamentos específicos, mas ao mesmo tempo demasiado genérico para o uso pretendido.

De uma forma breve, o conceito AMS é um conjunto de tecnologias cuja utilização está associada aos sistemas de produção. Não existe contudo consenso em relação a pontos fundamentais da estrutura, organização ou comportamentos dos AMS, pelo que não pode ser aceite e aplicada como uma referência no desenvolvimento de sistemas de produção.

3.1.5 Conclusões acerca de Sistemas Baseados em Agentes

Descreveu-se nesta secção o conceito de Sistema de Produção baseados em Agentes, o que conduziu o trabalho a descrever o conceito de agente e Sistema Multi-Agente. Torna-se muito complicado contudo apresentar uma definição do termo, bem como definir o conjunto de características e comportamentos obrigatórios em qualquer sistema baseado em agentes.

Além do mais, a aplicação do conceito trouxe grandes vantagens a domínios aplicativos como Sistemas de Produção, Gestão de Tráfego, Gestão de Informação²³, Gestão do Conhecimento, Comércio Electrónico, Gestão de Processos de Negócio²⁴, Aplicações Médicas ou de Entretenimento, o que ajuda na indefinição e mesmo confusão que se gerou à volta do conceito de Agente.

Esta diversidade de aplicação e de necessidades funcionais, conduz a características e comportamentos distintos e por vezes contraditórios, o que torna problemática a definição destes elementos tão importantes para qualquer arquitectura de sistema.

Esta observação é sintomática daquilo que se espera hoje em dia dos sistemas baseados em agentes: as potencialidades são consensualmente enormes, mas parece que a indústria não adere à ideia e está à espera dos resultados de diversos projectos de investigação e desenvolvimento na área para desenvolver produtos comerciais. São apenas dois ou três os domínios de aplicação onde está comprovada a aplicabilidade e vantagens competitivas inerentes ao conceito, caso do Comércio Electrónico e da Gestão da Informação, nomeadamente a pesquisa em ambientes complexos e dinâmicos como a Internet.

Como se verificou pelas anteriores confrontações, os Sistemas Multi-Agente são potencialmente utilizáveis nos Sistemas de Produção, contudo existe ainda muita indefinição e opiniões contraditórias quanto à estrutura, organização, métodos e regras aplicáveis no seu ciclo de vida.

Nesse sentido, e sem excluir a abordagem e princípios preconizados por estes sistemas, apresenta-se de seguida um conceito organizacional mais específico e aplicável a sistemas de produção.

3.2 Sistemas Holónicos de Produção

Embora os conceitos de agente e multi-agente respondam aos requisitos apresentados na secção 2.3.3, a verdade é que esses conceitos são demasiado vagos e genéricos. Este trabalho tem como objectivo sugerir um conceito organizacional-tecnológico que especifique efectiva e

²³ Fundamentalmente em ambientes complexos, indefinidos e modificáveis ao longo do tempo, como é o caso da Internet.

²⁴ Da terminologia anglo-saxónica *Business Process Management*.

suficientemente o sistema, definindo a estrutura, organização e comportamentos bem como relações e mecanismos funcionais entre entidades. Deseja-se um conceito que responda às necessidades reconhecidas, que se adapte ao domínio de actuação e que imponha ao sistema regras e outros elementos caracterizadores ao longo de todo o seu ciclo de vida (Anexo I.4). Enfim um paradigma organizacional ou sob um ponto de vista tecnológico uma arquitectura de referência (Anexo I.3).

Apresenta-se e descreve-se nesta secção o conceito de sistema holónico²⁵ de produção e a arquitectura associada. Embora não exista uma definição simples e imediata para holon, as suas origens, princípios e fundamentos, bem como características e comportamento estão perfeitamente definidos, pelo que o seu entendimento é relativamente simples. Iniciaremos esta secção apresentando as origens do conceito, referindo os seus princípios sociais e organizacionais. De seguida, e porque se trata dum conceito iminentemente sociológico, torna-se necessário traduzir e justificar o conceito quando utilizado tecnologicamente.

Com o objectivo de justificar que esta é a solução e base de trabalho indicada para responder às necessidades expostas, apresenta-se uma breve comparação com outros dois paradigmas: Fábrica Fractal e Sistemas “Biónicos” de Produção, que visam solucionar as mesmas questões e como tal podem-se considerar concorrentes.

Pelo estudo e análise da arquitectura e suas funcionalidades, pretende-se detectar e sistematizar necessidades estruturais que permitam caracterizar desde já algumas direcções futuras no que respeita a análise e desenvolvimento do sistema de produção e como tal justificar a relação da arquitectura com os Sistemas Multi-Agente.

3.2.1 Conceito holónico

Na secção 2.4, concluiu-se que os sistemas baseados em estruturas centralizadas e organizações hierárquicas não respondem aos requisitos actuais impostos pelas tendências evolutivas. Porém, nos seus estudos científicos na área da inteligência artificial, ciências cognitivas e organizações sociais, Herbert Simon²⁶ defende que a solução não passa pela rejeição dos sistemas hierárquicos, mas sim pela sua complementarização. Para justificar a sua tese recorre a uma parábola sobre relojoeiros:

Tempus e Hora, dois relojoeiros da mesma cidade, produziavam relógios com características idênticas e igualmente bons. Como os seus relógios eram muitos conceituados, ambos tinham muitos clientes e portanto

²⁵ Embora não exista em português, o termo “Holónico” surge da junção do termo “holon” (ver 3.2.1.1) com “ico”. Tal como em “telefónico” (telefone + ico), também aqui o pós-fixo “ico” sugere “a respeito de”, pelo que o termo holónico significa “que diz respeito a holon”.

²⁶ Herbert Simon (1916-) recebeu o Prémio Nobel da Economia em 1978, pelo seu trabalho em “racionalidade limitada”, no qual defende que qualquer entidade racional baseia o seu raciocínio e posteriores actuações em função dum conjunto limitado de recursos e conhecimento. É um dos fundadores da moderna investigação no domínio da Inteligência Artificial.

recebiam muitas encomendas. Porém, Hora enriquecia a olhos vistos ao passo que Tempus estava cada vez mais pobre.

Analisando as actividades dum e doutro, constatou-se que ambos produziavam relógios com o mesmo número de peças e muito semelhantes. No entanto a forma de os montar era significativamente diferente. Enquanto Tempus montava o relógio peça a peça, do início ao fim, Hora preferia fazê-lo por grupos, que montava separadamente e que agrupava posteriormente num grupo maior e assim sucessivamente.

Como tal, sempre que Tempus parava para registar uma encomenda a montagem era afectada e tinha de recommear do início. Pelo contrário, Hora apenas tinha que recommear o grupo de peças que estava a montar naquele momento, pelo que as consequências da paragem eram menores.

Assim, Tempus refazia indefinidamente o mesmo relógio e não dava resposta às encomendas e empobrecia, enquanto Hora era capaz de produzir os relógios encomendados e enriquecia.

Baseado na análise desta parábola, Simon defende que qualquer sistema complexo é muito mais estável, resistente a falhas e evolui muito mais rapidamente se for constituído por formas intermédias estáveis. Constata além disso a necessidade e o porquê dos sistemas complexos serem hierárquicos. Segundo Simon, este tipo de organização permite que os elementos sejam funcional e organizacionalmente orientados para o objectivo global do sistema, e tendo um comando único superior, a facilidade de gerir a complexidade é muito mais simples. Portanto, defende que será contra-natura a existência de sistemas complexos e adaptativos não hierárquicos.

Em 1960, o autor e filósofo húngaro Arthur Koestler no seu livro "The Ghost in the Machine"²⁷, ao estudar a obra de Simon e a sua parábola, verificou que apesar de facilmente se identificar o sistema e as suas partes intermédias (o todo e as partes) em organizações sociais bem como em organismos biológicos, não existem contudo entidades auto-suficientes e não interactivas. Qualquer elemento, sendo parte dum sistema, é formado por outras partes e é ao mesmo tempo parte de um todo mais vasto, o que desenvolve um sistema hierarquizado cujas partes no entanto detêm determinada autonomia no que respeita a planos e controlo das suas actividades. Este tipo de sistema híbrido, que Koestler denomina Sistemas Hierárquicos Abertos (SHA) será a origem de vários conceitos organizacionais surgidos a partir do final dos anos 80.

3.2.1.1 Holon: o todo e a parte

Qualquer unidade num sistema ou organização é constituída por unidades mais básicas: pais e filhos na família ou célula num órgão biológico, mas ao mesmo tempo fazem parte dum todo mais amplo: comunidade ou sociedade no caso da família, animal ou vegetal no caso do órgão biológico. Assim, Koestler ao concluir que as formas intermédias “puras” que Simon relatava não existem como tal, sugere a criação dum termo que descreva a natureza híbrida de:

²⁷ Da obra de Koestler salienta-se o livro “*Ghost in the Machine*”, contudo este é apenas o último duma trilogia onde aborda os problemas organizacionais das sociedades [Höpf, 96] e onde defende a noção de “Sistemas Hierárquicos Abertos” e os princípios que lhe estão inerentes.

- Todo e Parte;
- Conter e ser Contido.

Propõe então o termo “holon”²⁸, formado pela combinação da palavra grega *holos*, que significa “todo”, e do sufixo “*on*” que significa partícula ou parte, como em “neutron” ou “proton”. Holon é portanto um termo que incorpora duas características antagónicas: existir como um todo e simultaneamente ser parte dum todo mais vasto.

Além dessa constatação, Koestler defende que os elementos dos sistemas sociais e biológicos estudados são formados por elementos autónomos, auto-estáveis, simultaneamente controlados e controladores. Ou seja, além das características anteriores, holon deve ainda conter o duplo sentido de:

- Subordinante e subordinado;
- Controlador e controlado.

Estas características evidenciam a natureza híbrida, modular e distribuída, mas ao mesmo tempo objectiva e integrada do sistema. Por essa ordem de ideias, holon deverá ser considerado um elemento:

- **Autónomo**, porque evidencia capacidade de actuação sem necessidade de intervenção exterior, nomeadamente de níveis superiores;
- **Auto-ajustável**, porque é capaz de alterar e ajustar o seu funcionamento e comportamento, em função de contingências e distúrbios, sem necessidade de intervenção externa;
- **Coordenante**, porque o seu funcionamento é resultado da conjugação de interacções de controlo entre entidades (Este elemento será analisado pormenorizadamente em 3.2.2.3).
- **Cooperativo**, porque faz parte dum sistema mais vasto, no qual partilha a execução de tarefas orientadas para um objectivo global;
- **Recorrente**, pois holon é simultaneamente todo e parte, o que implica que holon possa ser formado por outros holons.

3.2.1.2 Holarquia

As características agora especificadas para o holon, permitem identificar as características estruturais e a organização funcional do sistema constituído por estes elementos, a holarquia.

²⁸ O termo holon é um termo inglês formado por duas palavras: “holos” + “on” e tal como “proton” se traduz por protão, também holon se traduziria por “holão”. No entanto, no decorrer deste trabalho a terminologia anglo-saxónica será mantida e usada.

Segundo Koestler **“Holarquia é uma hierarquia de holons auto-reguladores que funcionam**

- **como um todo autónomo, em supra-ordenação às suas partes;**
- **dependentes, em subordinação aos de nível superior;**
- **e em coordenação com o seu ambiente”.**

Está incluído nesta definição um conjunto de elementos fundamentais em qualquer sistema complexo:

- Especificação das características e comportamentos das partes (a juntar à explicação e justificação de Koestler);
- Especificação das relações organizacionais e funcionais entre elementos. A definição define holarquia como uma hierarquia, onde as partes se subordinam aos níveis superiores e supra-ordenam os níveis inferiores;
- Especificação das relações do sistema com o ambiente, o que inclui a percepção de acontecimentos no ambiente e com outros holons. Este elemento capacita o sistema em vários domínios:
 - ♦ Sociabilidade, pois o sistema coordena as suas actividade com o ambiente e as entidades que o compõe;
 - ♦ Pró-actividade, pois estão implícitas situações imprevistas às quais o sistema deve responder consistente e atempadamente. Por seu turno, esta característica é observável em entidades com conhecimento e capacidades racionais (são ambos indissociáveis);
 - ♦ Sociabilidade e Pró-actividade dificilmente se verificam em entidades que não tenham capacidade de raciocínio e conhecimento, pelo que se considera o holon como uma entidade inteligente [Tharumarajah, 96].

Refira-se em especial a caracterização organizacional: “holarquia é uma hierarquia...”. Este ponto é de fundamental importância e define importantes características do sistema. Koestler defende que determinado sistema complexo e adaptativo deve ter uma organização e controlo hierárquico pois garante ao sistema a objectividade, consistência e previsibilidade. Esta questão será analisada mais pormenorizadamente em 3.2.2.3.

3.2.1.3 Conclusões sobre conceito holónico

Apesar destes conceitos aparecerem pela primeira vez numa publicação iminentemente socio-organizacional ou mesmo filosófica, sempre que se referem numa publicação de engenharia da produção, parecem ter sido desenvolvidos para este domínio específico tal é a semelhança e a facilidade de relação entre características do conceito e os requisitos dos novos sistemas de produção.

No entanto a transferência de princípios e fundamentos dum domínio para o outro nem sempre é evidente e conduz vulgarmente a interpretações equívocas e contraditórias. É

objectivo da próxima secção apresentar uma abordagem tecnológica do conceito, realizada no âmbito dum consórcio criado para o efeito.

3.2.2 Abordagem tecnológica

Se bem que o conceito socio-organizacional de holon esteja suficientemente definido a sua utilidade aplicacional é limitada se não traduzir correctamente os termos conceptuais para o domínio dos sistemas de produção. É também importante que sejam definidos métodos para que os comportamentos e os benefícios verificados conceptualmente sejam atingidos.

Nesse sentido, o programa IMS criou o consórcio *Holonic Manufacturing Systems* (HMS)²⁹, que se tornou responsável pela tradução e adaptação para os sistemas de produção tecnologicamente avançados, dos conceitos e benefícios verificados por Koestler para organizações sociais e seres vivos.

3.2.2.1 Definições tecnológicas

Um dos primeiros resultados deste consórcio foi a especificação e apresentação dos termos tecnológicos que se seguem:

- **Holon:** Um bloco autónomo e cooperativo de construção de sistemas de produção para transformação, transporte, armazenamento ou validação de informação e de objectos físicos. O holon consiste numa parte de processamento de informação e por vezes numa parte de processamento físico. Um holon pode fazer parte de outro holon.
- **Autonomia:** A capacidade de uma entidade para criar e controlar a execução dos seus próprios planos e/ou estratégias.
- **Cooperação:** Um processo segundo o qual um conjunto de entidades desenvolve e executa mutuamente planos aceitáveis.
- **Holarquia:** Um sistema de holons que pode cooperar para atingir determinado fim ou objectivo. A holarquia define as regras básicas para a cooperação dos holons e por isso limita as suas autonomias.
- **Sistema de Produção Holónico (HMS):** Holarquia que integra um conjunto completo de actividades de produção: desde a encomenda, passando pelo design, produção e marketing, e que implementa a empresa de produção ágil (I.1).
- **Atributos holónicos:** Atributos duma entidade que compõem um holon. O mínimo requerido é autonomia e cooperação.

Das definições anteriores, é possível apresentar um conjunto de considerações que as relacionam com os termos e tipo de abordagem que vêm sendo usadas no trabalho:

- **Holon é uma entidade composta por outros holons;**

²⁹ *Holonic Manufacturing System* (HMS), ou em português: Sistemas de Produção Holónicos.

- **Cada holon é também uma holarquia.** Portanto, as características impostas para holon são válidas para holarquia e vice-versa³⁰ (Figura 5);
- **Os holons contêm informação.** O holon detém informação extensiva acerca de si mesmo e do ambiente que o rodeia incluindo os seus semelhantes;
- **Os holon usam regras fixas,** pois em cada holon existem regras de autonomia e cooperação internas as quais são condicionadas por outras definidas superiormente. Isto implica limitação na autonomia dos holons constituintes, mas garante a orientação objectiva do sistema, pois a especificação de regras de cooperação a nível superior facilita a consistência do sistema (Figura 6), no entanto **regras genéricas** “liberalizam” a negociação flexível entre holons, o que permite flexibilidade reactiva e dinâmica em situações de distúrbios;
- **Sistema cooperativo** que complementa a atitude integradora do holon. Estes elementos implicam no holon uma atitude de empenhamento próprio na realização das tarefas que lhe foram confiadas. Ou seja, o holon empenha-se no cumprimento do seu dever e nesse sentido tenta através do mecanismo da cooperação atingir os objectivos;
- **Modelização física-funcional.** Isto é, a especificação e modelização dos holons do sistema tanto pode ser realizada pela identificação de entidades físicas como de procedimentos funcionais, e ainda através das duas simultaneamente.

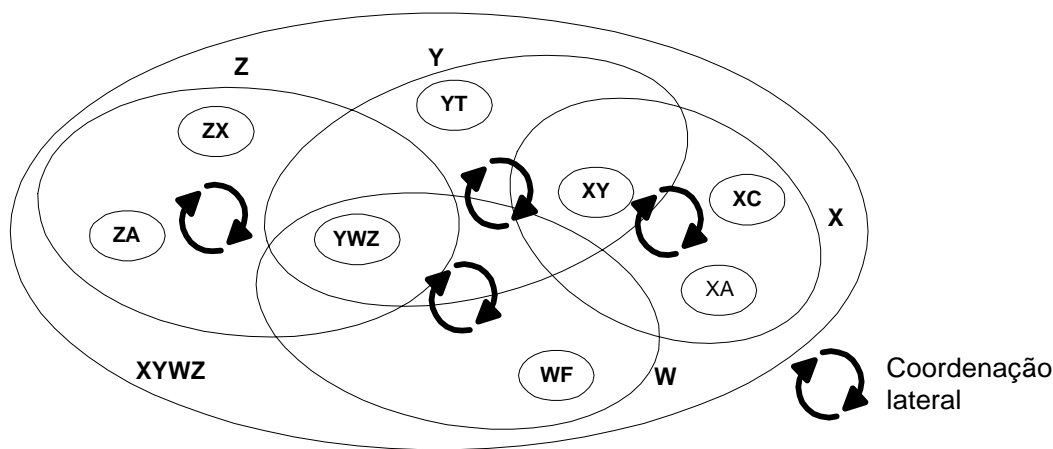


Figura 5 - Sistema holónico: Coordenação lateral através de cooperação

3.2.2.2 Definições complementares

Além destas definições, o consórcio HMS é também responsável por outros tipos de especificações, também elas relacionadas com o conceito original, mas porque não estão evidentes na apresentação que se fez, só agora se apresentam. Esses novos elementos, referem-se essencialmente a comportamentos e formas de os alcançar [Höpf, 96]:

³⁰ A mesma relação foi também observada nos conceitos de agente e multi-agente (ver 3.1.2).

- **O Holon pode pertencer a várias holarquias simultaneamente³¹** (Figura 5), complementando o que se referiu acerca do holon ser composto por outros holons. Como consequência, determinado holon pode existir dentro duma holarquia que esteja dentro desse holon;
- **Um holon pode pertencer a si próprio;**

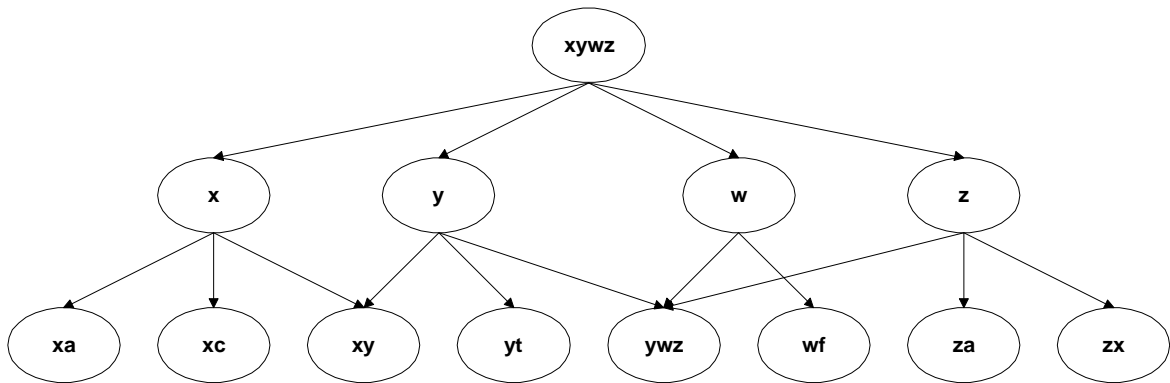


Figura 6 - Sistema holónico: Coordenação vertical através de controlo

- **Agrupamento dinâmico³²**, corresponde à capacidade que o holon tem de se agrupar num conjunto mais vasto mas coerente. Esta característica é o resultado da característica anterior com o facto do holon pertencer a várias holarquias simultaneamente e ser ele próprio uma holarquia;
- **Distúrbios no sistema conduzem a um processo de regeneração**, complementando o que foi referido acerca do dinamismo da estrutura e constituição da holarquia. Além disso, a existência duma holarquia está confinada ao seu período de utilidade, ou seja, a sua criação e extinção dependem do equilíbrio entre o conjunto das forças integradoras e de forças autónomas dos holons que constituem a holarquia;
- **O ser humano faz parte do sistema³³**. A estratégia de integração homem-holon tanto pode ser vista num enquadramento de complementarização como de substituição completa, ou seja, tanto homem como holon podem ser completamente substituídos

³¹ À semelhança do que se passa com as sociedades humanas ou biológicas em cada indivíduo pode pertencer a mais do que uma comunidade. Por exemplo é comum o ser humano pertencer a uma família, trabalhar numa empresa, ser associado dum clube desportivo, filiado num partido político, viver numa freguesia e num município, num distrito, num país, etc.

³² Baseado nas propriedades conceptuais holónicas, [Tharumarajah, 96] conclui que estas não evidenciam esse comportamento. Por outro lado, o consórcio HMS [Höpf, 96] defende a sua inclusão no sistema. Sob o ponto de vista deste trabalho, entende-se que sendo o conceito baseado em organizações sociais, onde o reagrupamento é dinâmico e cada indivíduo pode pertencer a vários agrupamentos simultaneamente então o reagrupamento dinâmico é um comportamento válido e deverá ser considerado como tal.

³³ Este ponto é consequência das origens sociais do conceito. No entanto esta questão é inteiramente oportuna quer sob o ponto de vista de necessidades, quer sob o ponto de vista de aceitação do conceito. A retirada do ser humano da planta fabril teve consequências negativas graves nas empresas, tanto sob o ponto de vista tecnológico, quer sob o ponto de vista social.

numa determinada função. Disso depende a capacidade do ser humano, dos objectivos locais, globais e temporais do sistema. No entanto, o ser humano é considerado uma mais valia, e como tal o objectivo é a complementarização de funções.

Não se pode esquecer as raízes sociais e organizacionais do conceito, e nesse sentido, é mais que um conceito tecnológico, é um conceito organizacional-tecnológico, pois define regras de organização e coordenação entre o sistema tecnológico e o ser humano, e define regras de gestão do sistema produtivo não apenas sob um ponto de vista tecnológico mas também organizacional e social³⁴.

Das definições e considerações anteriores, salienta-se a conjugação num conceito de dois tipos de organização: organização vertical e organização horizontal. Ou seja, em determinada perspectiva, a gestão e organização do sistema são atingidas através da definição de regras e imposição de autoridade, verticalmente ou hierarquicamente. Noutra perspectiva, horizontalmente ou heterarquicamente, as entidades são levadas a negociar e coordenar a execução das suas tarefas, pois não existe autoridade máxima controladora. Como tal, a holarquia combina o que de melhor e pior têm os dois sistemas. Será isto desejável?

3.2.2.3 Controlo Hierárquico, Heterárquico e Holárquico

Entende-se controlo como as diversas actividades de gestão de actividades dos elementos do sistema e que relaciona os elementos da estrutura organizacional, definindo regras de verificação de conformidade nas actividades a realizar.

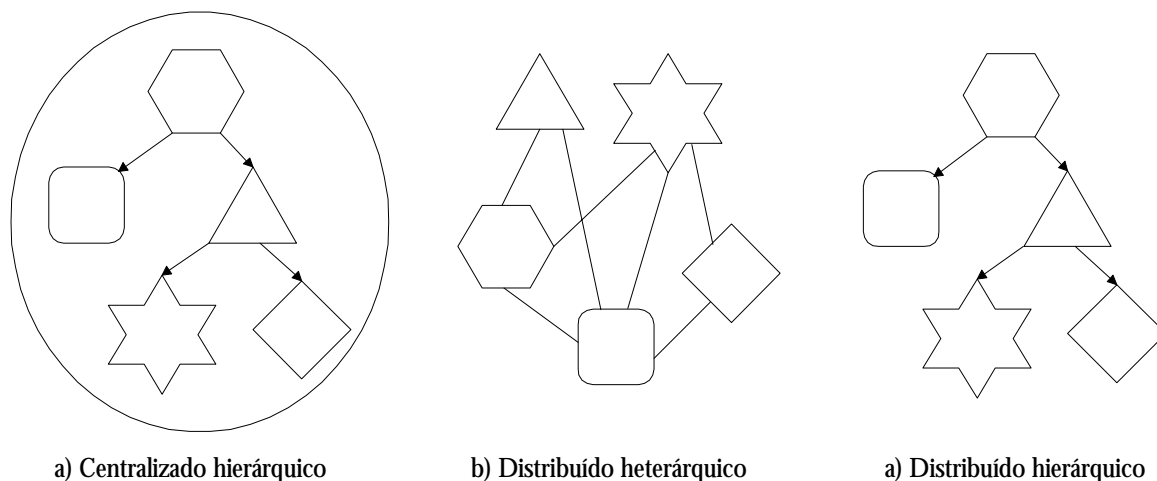


Figura 7 - Vários tipos de estrutura de sistema e controlo

Contrariando a confusão de que um sistema hierárquico é um sistema centralizado e vice-versa (I.7), existem sistemas que combinam os quatro elementos, como por exemplo sistemas

³⁴ Neste trabalho o interesse principal prende-se com a vertente tecnológica do sistema produtivo, pelo que será sobre essa que incidirá o trabalho.

hierárquicos distribuídos, sistemas distribuídos hierárquicos ou sistemas distribuídos heterárquicos (Figura 7).

Os dois tipos básicos de estruturas de controlo são a Hierarquia e Heterarquia. Apresenta-se agora um terceiro, a Holarquia.

3.2.2.3.1 Controlo Hierárquico

Um sistema de controlo hierárquico caracteriza-se pelas relações de controlo verticais: a entidade é controlada por outras de nível superior, controlando outras de nível inferior. As interacções entre entidades são previamente definidas e não alteráveis, pelo que os elementos não têm necessidade de autonomia e auto-iniciativa.

Assim, observam-se em sistemas hierárquicos comportamentos rígidos e muito sensíveis a perturbações. Por isto, e ainda porque são normalmente centralizados, o desenvolvimento e alteração do sistema é complicado, o que torna este tipo de controlo pouco vocacionado para sistemas em que sejam necessárias alterações sistemáticas, rápidas e dinâmicas.

No entanto, são sistemas em que o desempenho é elevado em situações de execução contínua e longa, e são a melhor garantia de estabilidade e funcionamento consistente mesmo em situações complexas. Porque se utilizam em produção contínua e longa a optimização do processo e previsibilidade da produção é possível.

3.2.2.3.2 Controlo Heterárquico

O controlo heterárquico é o oposto do hierárquico, pois não existe qualquer tipo de organização de comando entre entidades. Cada entidade é a única responsável pela suas acções. O princípio fundamental deste tipo de controlo é a não existência de qualquer tipo de autoridade, sendo que as diferentes entidades do sistema condicionam o seu funcionamento através de comunicação e negociação entre elas.

Este tipo de controlo permite ao sistema reagir fácil e automaticamente a situações não previstas. A relativa independência funcional das partes, bem como a vulgar estrutura distribuída, facilita o desenvolvimento, manutenção e reconfiguração (tanto “manual” como automática). As partes podem ser facilmente adicionadas, alteradas, substituídas ou simplesmente excluídas do sistema, pois este tem capacidade de se adaptar e auto-configurar dinamicamente.

No entanto, a sua adopção não é sugerida em sistemas complexos, em situações em que a realização de tarefas segundo planos específicos seja necessária e situações em que previsibilidade e optimização sejam importantes. O uso deste tipo de controlo está limitado a situações em que o sistema seja constituído por entidades semelhantes [Bongaerts, 96], pois em casos extremos de complexidade e heterogeneidade, o sistema pode atingir estados elevados de ineficiência e distúrbios internos [Valckenaers, 94].

3.2.2.3.3 Controlo Holárquico

A existência simultânea de controlo hierárquico e heterárquico traz ao sistema numerosas vantagens, impossíveis de atingir com qualquer dos tipos separadamente. O objectivo fundamental deste tipo de controlo é a anulação dos aspectos negativos de cada um dos

outros, através da complementarização dos aspectos positivos de cada método. Segundo o conceito holónico, o tipo de organização hierárquica é indispensável em sistemas complexos e que se desejem consistentes e objectivos. Por outro lado, a capacidade de reacção e reconfiguração do método heterárquico é um requisito importante. Há que encontrar formas de conjugar estes dois comportamentos.

A solução passa pela definição dum novo tipo de organização, a holarquia³⁵. Entende-se controlo holárquico como sendo iminentemente hierárquico, mas onde os elementos têm liberdade de negociação e reconfiguração. Esta abordagem é possível devido às características de holon já referidas mas das quais se salientam as seguintes:

- O holon pode pertencer a várias holarquias;
- Os holons formam holarquias dinâmicas (e temporárias);
- O holon é um elemento cooperativo.

Ou seja, o holon pode pertencer a várias holarquias simultaneamente e no limite pode pertencer a ele próprio. Como a composição e organização duma holarquia é dependente do equilíbrio formado pelas atitudes integradora e autónoma dos holons que a constituem, então a duração temporal da holarquia não pode ser especificada com exactidão, pois estes detêm conhecimento e autonomia para alterar o seu estado e funcionamento e como tal a holarquia a que pertencem. O último ponto define uma regra importante de coordenação: cada holon deve ser responsável pela tarefa de que foi incumbido e nesse sentido empenha-se na cooperação e negociação. A conjugação destes três pontos conduz o sistema aos comportamentos desejados.

Assim, a holarquia define regras e impõe restrições ao sistema, o que provoca a orientação objectiva do sistema ao mesmo tempo que limita a autonomia das partes [Bongaerts, 96]. Estas por sua vez, ajustam o seu estado e comportamento no sentido de atingirem objectivos particulares. Os resultados destas alterações são comunicados aos níveis superiores, que serão influenciados e alterarão o seu comportamento e estado, baseado nesses resultados. O processo é cíclico o que torna o sistema altamente dinâmico e ajustável ao mesmo tempo que mantém coerência e estabilidade funcional.

3.2.2.3.4 Conclusões sobre controlo em sistemas holónicos

Os modelos tradicionais de controlo têm um âmbito limitado de aplicação. Por um lado tem-se um modelo adaptado para produção em massa, determinístico e consistente mesmo em situações complexas, por outro tem-se um modelo capaz de reagir rápida e automaticamente a situações imprevistas.

O termo holarquia refere-se ao tipo de organização descrita: iminentemente hierárquica, mas onde as partes gozam de autonomia de actuação e controlo próprio.

Como se pode constatar das considerações apresentadas, o modelo holárquico combina o melhor dos dois métodos tradicionais e beneficia das vantagens inerentes a cada um: Estabilidade, Optimização, Previsibilidade e Gestão da Complexidade, por parte do modelo

³⁵ Holarquia tem a dupla interpretação de “sistema complexo” e “agrupamento ordenado”. Assim, pode-se afirmar que no sistema tipo holarquia o tipo de controlo é holárquico.

hierárquico, e flexibilidade, resistência a perturbações e facilidade de desenvolvimento e manutenção por parte do modelo heterárquico.

3.2.2.4 Conclusões sobre a abordagem tecnológica

O conceito holónico, surgiu associado a sistemas de produção quando o programa Intelligent Manufacturing Systems (IMS) propôs um projecto subordinado e dedicado à exploração aplicacional do conceito iminentemente filosófico e sociológico de Holon, em sistemas de produção inteligentes.

Nem sempre as características tecnológicas apresentadas são tradução exacta das propriedades evidenciadas no conceito original, pelo que nem sempre são suficientemente claros os objectivos de determinadas características tecnológicas.

Se bem que desde já seja possível depreender a sua aplicabilidade aos requisitos apresentados, será aconselhável justificar a sua validade e escolha, através da comparação com outros paradigmas.

3.2.3 Outros Sistemas Hierárquicos Abertos

O conceito holónico e a sua arquitectura HMS não são as únicas abordagens baseadas nos mesmos princípios, ou seja, conceitos organizacionais hierárquicos mas cujas partes detêm autonomia no planeamento e controlo das suas actividades. Outros tipos de SHA surgidos posteriormente têm abordagens mais tecnológicas e orientam a sua aplicação ao domínio dos sistemas de produção. Fábrica Fractal, Produção Limpa (*Lean Manufacturing*) [Höpf, 96], Sistemas de Produção Biónicos, Genéticos e Aleatórios são alguns desses paradigmas. Nesta secção apresentam-se resumidamente alguns e comparam-se com o conceito holónico.

3.2.3.1 Sistemas de Produção Biónicos

Okino, no final dos anos 80, baseado-se nos sistemas biológicos complexos, apresentou o conceito de Sistemas de Produção Biónicos, cujos objectivos era a aplicação dos princípios biológicos aos sistemas de produção inteligentes (*Biological-oriented*). Trata-se de incluir nos sistemas de produção os princípios de organização e comportamento observados em seres vivos desde o nível da célula até ao ser biológico complexo (animal ou planta), ou mesmo comunidades destes.

Nos seus estudos, Okino concluiu que desde a mais pequena e simples, até à maior e mais complexa estrutura que compõe estes organismos ou comunidades, todas têm características de autonomia e comportamento espontâneo bem como harmonia social, dentro de certas relações ordenadas hierarquicamente.

Os Sistemas de Produção Biónicos (BMS) fazem um paralelismo entre estas características biológicas e as necessidades consideradas essenciais para os novos sistemas de produção.

Sobre determinado ponto de vista, um sistema biológico e um sistema de produção são muito semelhantes. As unidades de produção (tantas vezes chamadas de células de trabalho) podem ser comparadas a células nos sistemas biológicos.

3.2.3.1.1 Estrutura e Organização

- **A célula biológica** é uma entidade inserida num ambiente químico, é constituída por um ambiente interno a que se dá o nome de citoplasma, uma parte executiva denominada núcleo e onde podem existir outras partes denominadas organitos que têm competências específicas, nomeadamente de controlo e coordenação internos. Citoplasma e núcleo são rodeados por uma membrana que constitui a fronteira com o ambiente externo e por onde as substâncias necessárias à actividade entram e são expelidas de volta ao ambiente depois de processadas. A célula tem capacidade de divisão baseada num conjunto de especificações definidas na sua criação. A estas características, herdadas por cada célula no processo de divisão, dá-se o nome de ADN³⁶. A vida é iniciada num processo que se denomina “génese”, e é nesse momento que as células e os seus agrupamentos em sistemas mais complexos e seres vivos é realizada.
- **A célula de trabalho** está inserida numa empresa, tem internamente recursos produtivos (máquinas, robôs, Homem. etc.). As matérias primas e informação de controlo têm determinados pontos e formas de entrada e saída, denominados interfaces. As matérias primas e informação, depois de processados serão reenviados pelas interfaces respectivas para o ambiente que se encarregará de os fazer chegar ao destino correcto: a informação ao sistema de controlo e os produtos à próxima célula ou armazém. Aquando da sua criação, são incorporados na célula de trabalho diversos elementos com funções e capacidades distintas, mas cujas funcionalidades são complementares no global. A funcionalidade da célula de trabalho depende da forma como os diversos elementos se complementam e coordenam o seu trabalho.

3.2.3.1.2 Controlo e Coordenação

- **A célula biológica** existe num ambiente que contém substâncias químicas capazes de condicionar a actividade e estado da célula. Estes elementos entram através da membrana para serem processados. Os elementos depois de processados retornam para o ambiente e vão consecutivamente influenciar o comportamento e estados das outras células. Da conjugação do processamento e resultados atingidos do conjunto das células, dá-se o equilíbrio e controlo do órgão e extrapolando, do sistema biológico completo. Trata-se duma organização hierárquica, pois as partes são controladas por um todo mais vasto, este próprio influenciado pela acção individual de cada célula. Como em qualquer sistema baseado em hierarquias abertas, a autonomia com que as células funcionam pode levar a situações de desregulação, pelo que é necessário existirem mecanismos de manutenção da

³⁶ ADN: “*Sígl*a do ácido desoxirribonucleico, também designado por DNA. Está contido nos cromossomas e armazena a informação genética que é preservada e transmitida para as células filhas durante a divisão celular. Cada espécie é caracterizada pela sua composição em ADN e pela quantidade do mesmo. No interior da mesma espécie, cada indivíduo possui a sua própria constituição genética.” em Enciclopédia Multimédia Verbo.

consistência, objectividade e coordenação. Nos sistemas biológicos essas tarefas são da responsabilidade das enzimas que além do efeito regulador-controlador, podem ter um efeito coordenador. Nesse aspecto, dependente da genética (ADN), podem influenciar as células a agruparem-se e a realizarem funções diferentes consoante as necessidades.

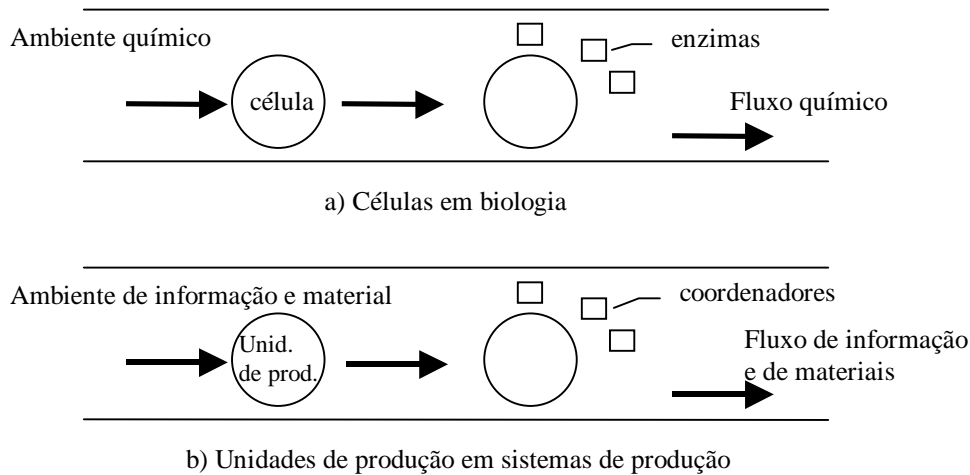


Figura 8 – Estruturas biológicas Vs. produtivas [Tharumarajah, 96]

- **A célula de trabalho** existe num ambiente industrial caracterizado para circulação de matérias primas, produtos intermédios e acabados. Adicionalmente, é transferida informação associada às actividades produtivas e de controlo. Cada um destes tipos de elementos tem interfaces diferentes e específicas, no entanto ambos são utilizados no interior da célula para a realização de actividades produtivas e alteração do seu estado. O resultado do processamento da informação voltará ao ambiente fabril e servirá para influenciar as restantes células de fabrico. O produto resultante será transferido para a próxima célula de trabalho onde se voltará a repetir o processo. As referidas enzimas são no domínio dos sistemas de produção os supervisores ou coordenadores (Figura 8).

3.2.3.1.3 Abordagem tecnológica

As semelhanças entre domínios agora apresentadas foram, para Okino, o ponto de partida no estudo que viria a culminar em 1989 na proposta dos sistemas biónicos de produção. Tal como definido por Okino, o sistema biónico é constituído por:

- **Modelons**³⁷, que representam as partes do sistema. O modelon está para o BMS como o holon para HMS, e tal como com o holon, também o modelon é constituído por vários modelons, criando assim uma hierarquia. A hierarquia que o modelon forma internamente também se denomina modelon;
- **Ambiente** que circunda os modelons e que representa simultaneamente o canal de comunicação e a memória do sistema. A memória é a tradução para o domínio industrial

³⁷ O termo modelon não existe em português nem em inglês. No entanto, trata-se de terminologia anglo-saxónica amplamente aceite e usada, pelo que o seu uso será extenso.

dos fluídos químicos e sua constituição, existente nos sistemas biológicos. Também aqui, o ambiente é colectivamente definido. Os modelons de nível superior recebem, guardam e alteram a informação à medida que os modelons constituintes o fazem também, tornando-se à medida que se sobe na hierarquia cada vez mais genérica (pois é a combinação de cada vez mais ambientes dos modelons), mas também mais caracterizadora do estado global do sistema e nesse sentido muito mais estável.

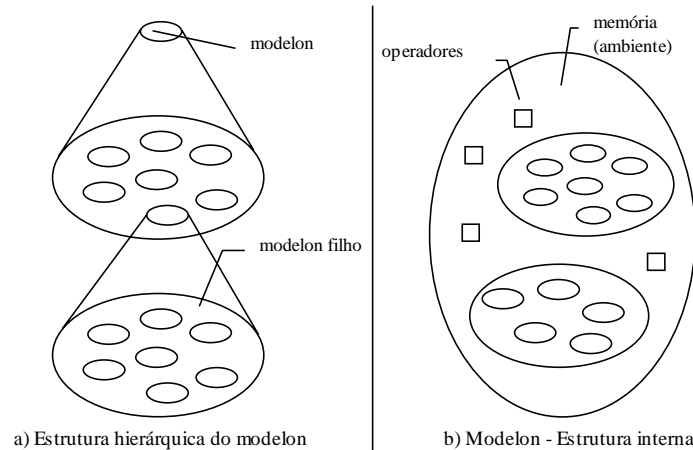


Figura 9 - Estrutura do modelon [Tharumarajah, 96]

- **Operadores**, que correspondem às enzimas nos sistemas biológicos e coordenadores nos industriais. Estes elementos têm funções de coordenação dos vários constituintes do modelon e são responsáveis juntamente com a especificação inicial (genética), pela definição de metamorfose dos modelons no sentido de agrupamento ou separação.

Em termos de organização e controlo, o resultado da passagem destes conceitos para sistemas de produção não difere muito da original. As tarefas são definidas nos níveis hierárquicos superiores e são passadas para os inferiores que vão especializando e implementando a tarefa. No processo inverso são comunicados os resultados, informação e produtos, das actividades aos níveis superiores, e à medida que se sobe na hierarquia vão-se tornando mais completos, descrição das actividades realizadas e produto final.

3.2.3.1.4 Conclusões sobre BMS

Este conceito baseia-se em princípios estruturais e comportamentais observados na biologia. A consistência e objectividade do sistema são suportados conceptualmente pelo princípio da herança genética, no qual o código genético do modelon pai é herdado pelo modelon filho. Nos sistemas de produção, este princípio é traduzido pela herança de características, estados, comportamento e conhecimento do domínio.

Devido à utilização do ambiente como memória, o que se traduz em grande quantidade e variedade de informação, o sistema poderá ter dificuldade em gerir esta informação.

3.2.3.2 Fábrica Fractal

O conceito de Fábrica Fractal baseia-se na exploração de várias constatações e pressupostos. Segundo Warneck, autor do conceito, a empresa do futuro será substancialmente diferente da de hoje, especialmente no que se refere a estruturação organizacional. Segundo o conceito que defende, a empresa deixará de ser orientada para a função (*function oriented*) e passará a ser orientada para o projecto (*project oriented*) [Sihn, 97], o que corresponde a incorporar na mesma estrutura o processo e a tecnologia³⁸.

Se assim for, a empresa não terá uma organização predefinida, antes terá recursos (existência predefinida) e tarefas (existência dinâmica), que serão os elementos agrupadores e os elementos a agrupar. Ou seja, o despoletar duma nova tarefa conduz a alterações na estrutura e organização da empresa, pois os recursos deverão ser rápida e automaticamente redistribuídos e agrupados. Este processo tem tanto mais possibilidades de sucesso quanto maior capacidade o recurso tenha de decidir como se comportar nessas situações e não dependa duma entidade para o fazer.

Sucintamente, a empresa deverá ser entendida como um sistema evolutivo não linear [Sihn, 97], estruturalmente reactivo e adaptativo ao contexto dinâmico. Sendo assim, a sua existência, estrutura e comportamento são completamente desprovidos de sentido ou previsão, o que faz pressupor a teoria do caos, por sinal donde os fractais são descendentes.

3.2.3.2.1 Conceito de fractal

Talvez porque os fractais são vulgarmente aplicados no domínio da computação gráfica, existe a noção corrente mas correcta que o fractal é um objecto dinamicamente divisível ou constituído por outros fractais semelhantes ao original, contudo distintos. Os fractais então gerados voltam a ser divididos noutros semelhantes e assim sucessivamente.

O fractal é então caracterizável por 3 propriedades fundamentais: divisão (ou construção) recursiva, semelhança e distinção. São estas características que condicionam o conceito e a abordagem tecnológica e que fazem do fractal um objecto extremamente dinâmico e adaptável. A semelhança e distinção definidos respectivamente por:

- **Auto-Semelhança**, que corresponde à propriedade do fractal se apresentar exteriormente semelhante aos seus antecessores (Figura 10-a) seja qual for a escala ou ponto de vista. Esta propriedade diz respeito aos resultados perceptíveis ou atingidos exteriormente, e tanto pode ser o aspecto visual (caso de fractais gráficos), como o resultado do processamento interno (caso de fractais produtivos). Esta propriedade corresponde na abordagem orientada por objectos à herança de características dos seus antecessores;

³⁸ Na literatura o termo usado é “*cybernetic*”.

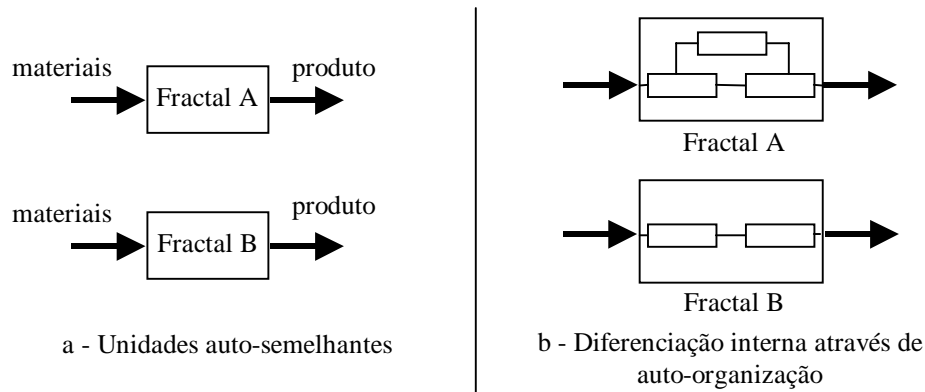


Figura 10 - Auto-semelhança e Auto-organização dos fractais [Tharumarajah, 96]

- **Auto-Organização**, corresponde à capacidade de na semelhança, se auto-distinguir dos antecedentes. Esta propriedade diz respeito à forma como a divisão do fractal é realizada e capacita-o a diferenciar-se internamente e a adoptar diferentes formas de realizar as suas tarefas (Figura 10-b). É portanto uma propriedade que incute no fractal um comportamento autónomo e concorrente com os requisitos momentâneos.

Com uma breve análise das propriedades apresentadas, constata-se a existência simultânea dos modelos hierárquico e heterárquico:

- Devido à propriedade de auto-semelhança o fractal evidencia um comportamento orientado, consistente e dependente dos antecedentes. A correcta definição das características iniciais é por conseguinte de fundamental importância;
- Devido à propriedade de auto-organização, o fractal tem capacidade de definição da sua estrutura interna e por conseguinte dos seus objectivos. Se bem que gerida por regras hierárquicas, o processo de reestruturação e definição de objectivos é da competência local de cada fractal e que o capacita na procura dos objectivos e coordenação de actividades no sistema.

Temos portanto um conceito abstracto que evidencia comportamentos e características de dinamismo e adaptabilidade, contudo mantendo uma grande objectividade e consistência global.

3.2.3.2.2 Abordagem tecnológica

O objectivo do conceito de Fábrica Fractal é a definição dum conjunto de princípios que imponham regras de desenvolvimento e adopção das características verificadas no fractal. No sentido de captar para os sistemas de produção os princípios de funcionamento dos fractais, Warneck na sua obra “A Fábrica Fractal” de 1993, e Sihm [Tharumarajah, 96], [Sihn, 97] depois, fazem a adaptação de alguns desses princípios:

- **Definição de fractais.** A definição tanto pode ser estática como dinâmica. No caso da abordagem dinâmica deverão ser especificadas regras e condições de criação;
- **Caracterização multi-dimensional** do sistema nomeadamente nos domínios cultural, estratégico, socio-psicológico, financeiro, informacional e tecnológico;

- **Caracterização multi-dimensional do fractal.** O fractal será especificado a partir das características multi-dimensionais especificadas para o sistema e que será herdado pelos fractais, no processo iterativo de evolução;
- **Vitalidade**, que corresponde à capacidade do fractal reagir e se adaptar às influências dos seus ambientes. Esta é uma das mais importantes propriedades do fractal, pois torna-o altamente reactivo e dinâmico na procura dos objectivos e na melhoria contínua dos resultados;
- **Cooperação** é uma propriedade dos elementos da fábrica fractal, pois estes têm consciência das suas limitações funcionais e compreendem que no sentido de atingir os seus objectivos (e os objectivos globais) as tarefas têm de ser colectivamente realizadas. Com esses objectivos, os elementos iniciam e participam em conversações e negociações com vista ao entendimento e resolução de conflitos que possam surgir;
- **Agrupamento estático e dinâmico de fractais**, que implica que sejam capazes de se reestruturarem e reagruparem dinamicamente;
- **Sistema de informação** avançado e eficiente, que fornece ao sistema a informação necessária às actividades de produção;
- **Sistema de navegação** extenso e flexível, que permite a cada fractal procurar os seus objectivos e melhoria contínua dos resultados, confrontando-se com o seu estado actual e alterando-o se necessário.

Dos pontos anteriores fica uma ideia da forma como o objecto fractal se adapta à empresa. Contudo, a imagem do fractal que se conhece da computação gráfica e das imagens interessantes e cuja utilidade é relativa não é propriamente aplicável. Na verdade a imagem do fractal que se inicia num determinado ponto do écran e que se vai dividindo até encher o écran, não é a mais correcta quando se associa o conceito à fábrica fractal. A imagem mais correcta será porventura a de vários fractais a serem construídos continuamente no écran mas em que os originais vão deixando de existir, sendo o objectivo do “sistema” a contínua formação de fractais. Ter-se-ia então uma imagem em contínua construção e que nunca se completaria. Embora os objectivos do fractal no écran sejam muito simples e limitados, podem-se definir objectivos altamente complexos e multi-dimensionais nos fractais da fábrica.

3.2.3.2.3 Conclusões sobre Fábrica Fractal

Temos assim um sistema caracterizado por grande dinâmica individual e máxima capacidade de reacção e adaptação, organização e optimização, ao mesmo tempo que mantém grande consistência e objectividade devido à herança de características. Além do mais é um conceito com grande capacidade de modelação de diversas dimensões, o que o torna muito vocacionado para modelação e especificação do sistema³⁹.

³⁹ O grupo CIMOSA tem vindo a adoptar muitos dos princípios e noções da Fábrica Fractal. O grupo CIMOSA, é um projecto europeu que se dedica à definição duma arquitectura, *framework* e outras metodologias de desenvolvimento e especificação de sistemas em geral e em particular sistemas de produção.

3.2.3.3 HMS Vs. BMS Vs. Fábrica Fractal

HMS, BMS e Fábrica Fractal são três exemplos de conceitos de Sistemas Hierárquicos Abertos que foram propostos na última década como resposta às necessidades sentidas pelos sistemas de produção. Estes sistemas advogam a necessidade de manutenção duma organização eminentemente hierárquica mas em que os diversos elementos que constituem o sistema tenham autonomia parcial em determinados domínios de actuação. Defendem além disso que a hierarquia é indispensável no sentido da manutenção da objectividade e consistência, ao mesmo tempo que garante a resolução de conflitos resultantes da atitude autónoma e individualista das partes.

Os três conceitos têm origens diferentes o que se traduz em abordagens distintas e em diferentes formas e mecanismos de aplicação. A Tabela 2, baseada em [Tharumarajah, 96], resume as diferenças de termos e estruturas usadas nos três paradigmas. Embora os parâmetros sejam suficientemente esclarecedores, refira-se que o parâmetro da criação corresponde ao processo de definição e criação. O parâmetro de modelização corresponde à dimensão da entidade que será aplicada no seu desenvolvimento. O processo corresponde ao mecanismo usado no agrupamento e o objectivo corresponde à razão que leva a unidade (ou sistema) a agrupar-se.

	HMS	BMS	Fábrica Fractal
Unidade Básica	Holon	Modelon	Fractal
♦ Criação	Predefinida	Génese	Predefinida
♦ Modularização ⁴⁰	Funcional e Física	Multi-funcional baseado em ADN	Multi-dimensional orientada à tarefa (e não à função)
Unidade de Grupo	Holarquia	Modelon	Fractal
♦ Criação	Predefinida mas Dinâmica	Génese mas Dinâmica	Predefinida mas Dinâmica
♦ Processo	Reagrupamento ⁴¹	Divisão do modelon, ADN	Reagrupamento
♦ Objectivo	Funcional	Funcional	Tarefas e Optimização

Tabela 1 – HMS Vs. BMS Vs. Fábrica Fractal: Estrutura

Constata-se que o conceito de Fábrica Fractal, devido à caracterização multi-dimensional adoptada, responde aos requisitos de modelação e simulação, ao mesmo tempo que as entidades físicas serão facilmente modularizadas e traduzidas para fractais.

⁴⁰ Por modularização entende-se o método que orienta a identificação e definição dos holon, ou seja, “porque estes e não aqueles”. Pretende-se também abranger as características incluídas no holon aquando da sua criação.

⁴¹ Ver nota sobre esta propriedade, em 3.2.2.2.

Ao contrário, o sistema holónico adopta a abordagem funcional, o que o torna mais tradicional contudo de mais fácil e compreensível desenvolvimento.

O sistema biónico, porque combina várias das propriedades mais específicas de cada um dos outros, é o mais equilibrado.

	HMS	BMS	Fábrica Fractal
♦ Autonomia	Limitada por regras hierárquicas	Em resposta a alterações no ambiente e operadores	Objectivos individuais e Vitalidade
♦ Planeamento individual	Algum hierarquicamente, mas principalmente dinâmico	Mínimo. Realizado por reacção às alterações no ambiente	Contínua procura de objectivos e melhoria de resultados
♦ Controlo individual	Reactivo, baseado nas formas intermédias estáveis ⁴²	Reactivo às alterações no ambiente	Contínuo por comparação de estados
♦ Coordenação hierárquica	Planos hierárquicos com refinamento progressivo. Resposta de resultados de baixo para cima	Tarefas hierárquicas. Resposta de decisões de baixo para cima	Entre níveis adjacentes através de cooperação. Resolução reactiva de conflitos
♦ Coordenação lateral	Comunicação e Cooperação	Baseado no conteúdo do ambiente e operadores	Comunicação e Cooperação.

Tabela 2 – HMS Vs. BMS Vs. Fábrica Fractal: Comportamentos

Da análise da Tabela 2, baseada em [Tharumarajah, 96], constata-se a dependência operacional das abordagens tecnológicas em relação aos conceitos originais. Refira-se por exemplo a constante alusão do sistema biónico ao ambiente, que tanto serve de meio de comunicação como recipiente de informação de controlo.

O sistema holónico torna-se menos dinâmico e versátil (por comparação) devido às limitações do todo e da parte. Tal como no relógio da parábola dos relojoeiros, as partes e as formas intermédias estáveis são perfeitamente definidas e limitadas, o que limita substancialmente a dinâmica de agrupamentos ou as formas de cooperação. Na definição tecnológica, estas limitações são especificadas pelo *canon*⁴³.

Constata-se o elevado dinamismo e adaptabilidade (vitalidade) da fábrica fractal através da constante comparação de estados, objectivos e resultados individuais. Estes comportamentos

⁴² Não esquecer que cada holon pode ser uma holarquia ou um conjunto complexo de holons e holarquias, mas que a determinado nível é considerado apenas um holon.

⁴³ [Tharumarajah, 96] refere em substituição de regras hierárquicas, o termo “*canon*”, como sendo o uso de regras fixas para manter a objectividade da actuação, mas vagas para permitir actuação criativa.

típicos do fractal, tornam a organização mais heterárquica e autónoma, ao mesmo tempo que condicionam a consistência e objectividade do sistema. As suas capacidades de comunicação e navegação são imbatíveis pelos outros.

O sistema biónico torna-se complicado de gerir, pois os dados, informação e conhecimento existem ou estão dependentes do ambiente que está presente em muitos dos processos do sistema, controlando, comunicando ou sendo fonte de informação. A gestão torna-se complicada pois o ambiente de cada modelon é o resultado das constantes contribuições de cada modelon “filho”, que por sua vez irá condicionar o ambiente do modelon pai, e assim sucessivamente. Contudo, e excluindo potenciais dificuldades, este é o sistema que mais importância coloca na informação e conhecimento. É também o sistema que mais condiciona a sua actuação e comportamentos em função da informação.

Resumindo:

- O sistema holónico sendo o mais tradicional e devido à sua estruturação funcional, adapta-se facilmente ao conceito orientado por objectos. É também aquele cuja estabilidade será por ventura mais simples de atingir, devido às regras (*canon*) e estrutura e controlo holárquicos, ao mesmo tempo que a sua dinâmica lhe permite reagir e adaptar-se com a facilidade que o *canon* permite.
- O sistema biónico responde “à letra” à noção de que os sistemas de produção modernos devem estar atentos às constantes alterações de mercado (ambiente), no sentido de retirar vantagens da mais pequena oportunidade de mercado. Resta saber se tanta informação não se tornará prejudicial e contrária à produtividade;
- A fábrica fractal é a abordagem mais moderna e avançada no sentido da vitalidade e autonomia das partes. Além disso assenta em formalismos matemáticos o que torna o paradigma aconselhável para tarefas de projecto e especificação. No entanto a sua aplicação tornar-se-á complicada essencialmente no que respeita à implementação de mecanismos de navegação e coordenação.

3.3 HMS: Características Vs. Requisitos

Tal como aconteceu para os sistemas baseados no conceito de CIM e AMS, também agora se faz uma confrontação dos requisitos fundamentais apresentados nas características referidas para os sistemas holónicos de produção.

Mais uma vez, e apenas por uma questão de facilidade de leitura, os requisitos definidos anteriormente são os seguintes:

- Distribuição e Descentralização;
- Comunicação;
- Gestão da informação;

- Flexibilidade e Reactividade;
- Coordenação de competências;
- Modularização;
- Sub-especificação;
- Modelação de entidades físicas em entidades lógicas.

3.3.1 Distribuição e Descentralização

Os sistemas holónicos são por natureza sistemas distribuídos, pois as suas funções são divididas e localizadas em várias entidades no sistema. A modelização do sistema usando a abordagem de representação de entidades físicas não invalida a distribuição, pois complementarmente pode ser usada a modelização funcional das entidades.

Adicionalmente, refira-se o facto da informação ser distribuída ao longo da hierarquia.

O conceito holónico não impõe descentralização, embora o sugira e seja vulgar nos sistemas implementados. Descentralização pressupõe a existência de múltiplas entidades com determinada competência ou funcionalidade, o que nem sempre é possível num sistema de produção devido a limitações várias ou simples inutilidade prática. Imagine-se por exemplo que determinada operação só é realizável por um único recurso da empresa. Essa competência não pode ser descentralizada a não ser que seja adquirido outro recurso que a realize.

Mais que a qualquer outra dimensão, descentralização diz respeito a controlo. Quando o sistema é descentralizado, o controlo tende a ser da responsabilidade de cada holon, e praticamente não existe um controlo por parte da holarquia, existindo em vez disso, coordenação.

3.3.2 Comunicação

Os sistemas de produção holónicos são por necessidade evoluídos em termos de comunicação. As suas necessidades nesse campo prendem-se com as restantes propriedades, nomeadamente coordenação hierárquica e lateral. A coordenação, nomeadamente a lateral implica no holon capacidades evoluídas de participação em conversações com vista à cooperação e à consequente resolução de conflitos.

3.3.3 Gestão da informação

Num sistema holónico de produção, a informação é distribuída e dinâmica. Mas a grande diferença quando comparado com sistemas tradicionais, é a modelização conjunta do objecto (informação e funcionalidade) e competências para decidir o seu estado e comportamento.

Fazendo um paralelismo com o paradigma Orientado por Objectos, holon é um objecto que ganhou uma dimensão: autonomia (de estados e comportamentos). O holon não tem uma ligação “umbilical” a outra entidade (e.g. Base de Dados), existe num ambiente e é independente.

A informação é o próprio holon, pelo que os dois são indissociáveis. Como o sistema é um holon (holarquia) então o sistema de informação do sistema holónico é o próprio sistema holónico.

No sistema holónico a informação evolui para conhecimento, o que torna a definição e uso de ontologias do domínio de fundamental importância. A adopção da tecnologia multi-agente fornece esses mecanismos, e nesse sentido a sua adopção será vantajosa.

Além do mais, sendo a informação distribuída pelos diversos holons, autónomos e inteligentes, a gestão da informação torna-se de fundamental importância, pois a possibilidade de incoerências ou inutilidade são enormes. Embora o paradigma defina holon como uma entidade cooperante e integradora, isso não é suficiente para garantir coerência, consistência e utilidade à informação. Por sua vez a arquitectura não fornece regras ou mecanismos que facilitem e garantam essas propriedades.

3.3.4 Flexibilidade e Reactividade

O sistema holónico de produção poderá não ser tão adaptativo e gozar da vitalidade da Fábrica Fractal, no entanto a sua hierarquia aberta, a autonomia, cooperação e inteligência tornam o sistema holónico capaz de reagir a alterações ambientais e requisitos lançados pela holarquia. Pela combinação da distribuição, cooperação e dinamismo naturais, o sistema evidencia comportamentos flexíveis e reactivos, mantendo contudo a consistência e objectividade global.

3.3.5 Coordenação de competências

Os sistemas holónicos são sistemas hierárquicos abertos, que tal como estudados e defendidos por Simon e Koestler, são a abordagem correcta e porventura a única possível para ambientes complexos e adaptativos. Estes sistemas são constituídos por entidades autónomas e com capacidade de participar em conversações relacionadas com cooperação e coordenação das suas actividades. A coordenação de competências dá-se por dois métodos, um através da hierarquia, que não impondo planos das tarefas ou controlando as actividades, condiciona a sua escolha e por conseguinte as actividades. No entanto, o holon, dentro da autonomia e “criatividade” concedidas, tem controlo final sobre os seus planos, actividades e interrelações.

Adicionalmente, as formas intermédias de Simon, fornecem a capacidade do sistema manter a consistência e objectividade, sem que a autonomia das partes seja afectada. Estas formas garantem ao sistema as necessárias estabilidade, coordenação e objectividade.

3.3.6 Modularização

O sistema holónico de produção é um sistema modular, no sentido em que as suas entidades são definidas separadamente e autonomamente, sendo da interligação de todas garantido o funcionamento global do sistema.

3.3.7 Sub-especificação

A coordenação de tarefas no sistema holónico dá-se através da definição genérica e vaga de planos nos níveis superiores do sistema, cujos planos são passados para os inferiores, que os caracterizam e especificam progressivamente e os vão enviando para os níveis consecutivamente mais baixos. A sub-especificação faz assim parte integrante do conceito. Como este é um comportamento de fundamental importância, é compreensível que tenha implicações noutras áreas tal como as comunicações, conversações e negociações.

Como foi referido, a sub-especificação pode, adicionalmente, ser conseguida pela inclusão do ser humano nos sistemas de produção. A arquitectura HMS desde sempre defende que qualquer entidade que possa ser perfeitamente caracterizada é candidato a holon, referindo contudo, que o ser humano é uma excepção.

3.3.8 Modelação de entidades físicas em entidades lógicas

Este ponto, já referido anteriormente, é uma questão mais relacionada com a especificação e desenvolvimento do sistema do que propriamente dependente do conceito ou da arquitectura de referência.

A identificação de holons é um assunto tratado por vários autores, nomeadamente [Van Brussel, 97], [Bongaerts, 96] e [Ramos, 96]. Estes defendem a tese de que o holon deve representar entidades físicas cuja existência e comportamentos possam ser perfeitamente identificados. Complementarmente, as funções, actividades e comportamentos associados à entidade deverão ser modelizados por outros holons incluídos na holarquia formada pelo holon inicial.

A noção das formas intermédias estáveis de Simon é potencialmente aplicável neste requisito, pois permite a modelação de partes do sistema cuja existência e comportamentos sejam estáveis, dum ponto de vista exterior, contudo mantendo dinâmica e adaptabilidade interna. O

agrupamento destas formas possibilita a criação de sistemas altamente complexos, estáveis e com paralelismo com o sistema físico.

Por exemplo, a sua adopção em sistemas orientados para empresas virtuais, permitiria uma abordagem em que a modelização de tais organizações seria a definição de formas intermédias estáveis, que teriam um papel de representante das empresas físicas. Estas formas apresentar-se-iam globalmente indivisíveis (estáveis) mas formariam uma holarquia internamente dinâmica e adaptável aos requisitos externos.

3.3.9 Conclusões acerca da aplicabilidade de HMS

Todos os requisitos definidos no Capítulo 2, exceptuando a gestão da informação, que necessita de mecanismos e regras de funcionamento, todos têm resposta nos sistemas holónicos de produção

Importante é também a relação existente entre os sistemas holónicos de produção e os Sistemas Multi-Agente, pois constata-se que o conceito de multi-agente fornece mecanismos e tecnologias que implementam as características e comportamentos fundamentais recomendados pela arquitectura holónica.

O uso da tecnologia orientada por objectos poderá trazer grandes vantagens competitivas, não só quando aplicada na implementação de sub-especificação, mas também quanto à reutilização de classes de objectos em diversos sistemas. A utilização de classes de holons previamente validados noutros sistemas, é desde logo garantia de qualidade e fiabilidade. Além disso, o tempo (e consequentemente o custo) da especialização é consideravelmente menor que o desenvolvimento completo. Esta situação é tão ou mais vantajosa quanto as necessidades do sistema de evoluir e de se adaptar, pois tornar-se-á mas fácil, seguro e rápido o desenvolvimento de novos componentes.

3.4 HMS Vs. MAS

O conceito holónico é uma arquitectura de sistemas de produção, o qual não define a adopção de tecnologia específica, antes recomenda. Assim, convirá escolher aquela que melhor se adapta às características impostas pela arquitectura ao sistema e aos seus elementos.

Como referido na secção 3.1.5, o conceito de Sistema Multi-Agente é um conceito iminentemente tecnológico e nesse sentido a sua aplicação é limitada, pois o seu desenvolvimento, estrutura, organização e operação não obedecem a métodos rigorosos e previamente definidos e acordados. Assim, é aconselhável a sua utilização como complementarização tecnológica de arquitecturas e conceitos organizacionais capazes. Ou seja,

um Sistema Multi-Agente poderá ser adoptado como o conceito tecnológico e nunca como um conceito organizacional ou arquitectura de sistemas de produção.

Nesse sentido, constata-se a apetência dos Sistemas Multi-Agentes, em especial os autónomos e cooperativos, em responder às necessidades impostas pela arquitectura holónica:

- O holon requer especificação de comportamentos orientados pelas regras definidas e comunicadas na holarquia, o *canon*. A exploração destas regras fixas mas genéricas, requer do holon comportamentos autónomos, criativos e racionais;
- Holon é uma entidade cooperativa;
- As tarefas a desempenhar por um sistema holónico são genericamente definidas pela holarquia e deverão ser refinadas pelos holons que as compõem. Nesse sentido, muita da comunicação, conversações, negociações e planos realizados e tratados pelo holon são sub-especificados;
- O agrupamento predefinido e hierárquico, assemelha-se ao encontrado na organização interna vertical do multi-agente. Na mesma linha de raciocínio, o controlo heterárquico e coordenação lateral referidas em 3.2.2 salientam a organização interna mista, ou seja, onde existe hierarquia e heterarquia;
- O holon tanto pode ser desenvolvido através de modelização funcional como física. Uma das formas de modularização do sistema é representar entidades (ou objectos) físicos através de holons, tal como defendem [Bongaerts, 96], [Van Brussel, 95] e [Ramos, 96], pelo que nessas condições holon não é mais que um representante ou agente da entidade. Simultaneamente, o mesmo sistema pode ser modelizado funcionalmente através da identificação de competências e funções a serem exercidas pelo sistema.

Assim, autonomia, racionalidade, sociabilidade, cooperação e representatividade são apenas algumas das características especificadas como comportamentos e características do sistema holónico, e que são suportadas pelo conceito de multi-agente, pelo que a utilização da tecnologia orientada por agentes, no desenvolvimento de Sistemas Holónicos de Produção parece apropriada e vantajosa.

3.5 Conclusões

A aplicabilidade dum sistema tecnológico de suporte às actividades duma empresa de produção depende em grande parte de conceitos de gestão e organização. Não é suficiente a existência de conceitos e mecanismos tecnológicos para que o sistema desenvolvido seja correcto, eficiente e responda às expectativas criadas.

O conceito multi-agente é um conceito fundamentalmente tecnológico pois não define explicitamente estrutura, organização ou mecanismos que devem ser associados ao sistema. Apenas define propriedades típicas e potenciais comportamentos dos Sistemas Multi-Agente.

Ao contrário, os SHA apresentados, consideram os sistemas de produção um ambiente complexo e multi-dimensional, em que a estrutura e organização são explicitamente definidos. Nesse aspecto, o conceito de Sistema Multi-Agente fica nitidamente em desvantagem em relação aos conceitos SHA e nomeadamente em relação ao conceito de holon.

O conceito e arquitectura HMS foram estudados e analisados. Pela sua comparação com outros conceitos organizacionais foi possível concluir que não sendo um conceito extensivamente reactivo e adaptativo como a Fábrica Fractal ou tão harmonioso e atento ao ambiente como os Sistemas de Produção Biónicos, os HMS são sistemas que representam a estrutura organizacional prevista no Capítulo 2, composta por entidades autónomas e dinâmicas, empenhadas no cumprimento de objectivos quer individuais quer globais. A estrutura prevê a participação simultânea de holons em diversas holarquias, bem como a redefinição dinâmica e reactiva da constituição e estrutura da holarquia, pelo que a dinâmica e adaptabilidade do sistema a alterações contextuais está garantida. No sentido de resolver problemas de desvios globais e inconsistências nos objectivos, os elementos evidenciam comportamentos cooperativos, coordenativos e reactivos.

Os Sistemas Multi-Agente são conceitos tecnológicos, e como tal não pressupõem qualquer tipo de organização. Contrariamente, o paradigma holónico não prevê o uso de tecnologia específica.

Constatou-se porém que muitas das características e comportamentos dos holons e dos sistemas holónicos são observáveis e característicos nos Sistemas Multi-Agente. Como tal, os dois conceitos deverão ser entendidos como complementares um do outro, e não concorrentes ou divergentes. Nesse sentido, compreendem-se as vantagens inerentes à utilização de Sistemas Multi-Agente no desenvolvimento de Sistemas Holónicos de Produção.

Capítulo 4

CASO PRÁTICO

"Acho que estou a fazer progressos porque uma vez mais estou a perceber nada de absolutamente nada..." - Charles Ramuz

Agora que está definido o conceito organizacional a ser utilizado é possível iniciar a descrição do trabalho prático realizado. Serve este capítulo para apresentar a implementação realizada, contrapondo escolhas e técnicas aplicadas com as necessidades e requisitos especificados nos capítulos anteriores.

O objectivo fundamental inerente à implementação do caso prático era o desenvolvimento dum sistema de escalonamento de tarefas num conjunto de recursos. O sistema dever-se-ia basear na arquitectura holónica e utilizar técnicas de Sistemas Multi-Agente, que tal como foi referido se complementam organizacional e funcionalmente.

Na primeira secção tratar-se-á da especificação da estrutura do sistema em especial a identificação de holons e holarquias, as suas funções e comportamentos, bem como as relações existentes entre elas. Em face das especificações sugere-se uma arquitectura específica para o sistema pretendido, e que será posteriormente utilizada no desenvolvimento do sistema.

De seguida, tendo em consideração a estrutura sugerida e o conceito a adoptar, enumera-se um conjunto de infra-estruturas necessárias ao desenvolvimento e implementação do sistema.

Mediante esses requisitos torna-se claro que será necessário desenvolver sistemas de apoio paralelos ao sistema produtivo que lhe forneçam mecanismos funcionais e organizacionais. Estes mecanismos deverão permitir ao sistema evidenciar não apenas as características holónicas descritas, mas outras bem mais simples como a segurança ou a coerência da informação.

Por fim, descreve-se o sistema de escalonamento desenvolvido, caracterizando as competências e interligações de cada tipo de entidade do sistema. Descreve-se o processo de escalonamento, no qual se inclui a descrição dum novo método de escalonamento em sistemas distribuídos, derivado dum outro anteriormente desenvolvido para sistemas centralizados.

4.1 Arquitectura do Sistema

Apresenta-se nesta secção a arquitectura que será adoptada no desenvolvimento do protótipo do sistema de produção holónico. Entende-se arquitectura (ver I.3 para uma descrição mais alargada) como um agrupamento de componentes, que interligados definem um sistema consistente, coerente e funcionalmente capaz. Trata-se duma arquitectura baseada no paradigma dos sistema holónicos, derivada de duas outras anteriormente propostas por [Bongaerts, 96] e [Ramos, 96].

Desde sempre que as questões de terminologia e significado dos termos conduzem a problemas de coerência e ambiguidade no desenvolvimento. Com o objectivo de obviar esses problemas, inicia-se a secção descrevendo genericamente um sistema de produção tal como é entendido neste trabalho, descrevendo as entidades e os seus objectivos.

Nos pontos seguintes analisar-se-á a arquitectura proposta segundo dois pontos de vista: Informacional e Funcional, o que permitirá na secção seguinte enumerar e descrever alguns requisitos tecnológicos fundamentais para o sistema.

4.1.1 Descrição Genérica

A arquitectura proposta é uma arquitectura particular, na medida em que define as competências, comportamentos e inter-relações entre entidades, definindo as trocas de informação e funcionalidade associadas.

A arquitectura define duas grandes áreas: o planeamento de processos e o planeamento da produção, sendo sobre o planeamento da produção que incidirá o trabalho a realizar e em especial sobre o escalonamento da produção.

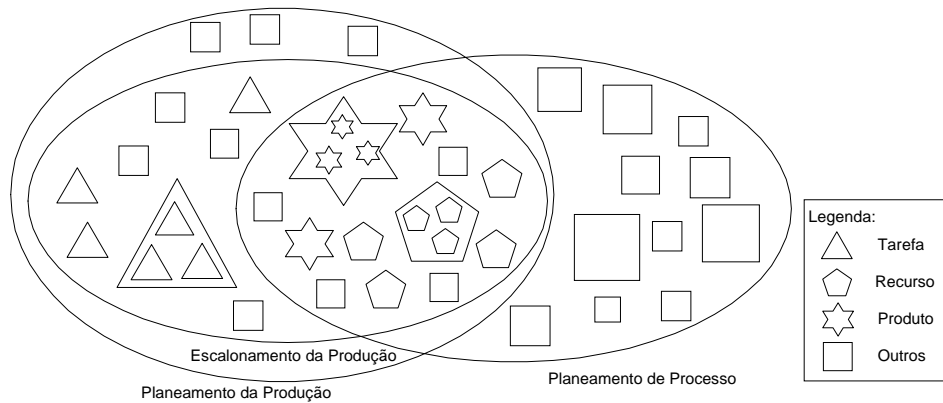


Figura 11 – Estrutura do sistema de produção

A estrutura do sistema proposto aparece esquematizada na Figura 11, onde se representam as duas grandes áreas da produção: Planeamento do Processo e Planeamento da Produção.

- **Planeamento de Processo**¹. A área de planeamento de processo é responsável pela definição dos planos de fabrico dos produtos, o que corresponde à definição das operações de processamento necessárias ao fabrico dos produtos. A definição de operação por seu turno corresponde à associação de: operação de fabrico, célula de fabrico, ferramentas, tempos de operação e outras restrições. O seu estudo sai fora do âmbito deste projecto excepto no que respeita ao facto de ser necessário para informar a produção, do processo de fabrico de determinado produto;
- **Planeamento da Produção** é responsável pela gestão de todo o sistema de produção e inclui a coordenação dos vários elementos que compõem o sistema, no que respeita à produção: Armazéns e Inventários, Gestão de Capacidades, Compras, Escalonamento Qualidade e Controlo. O Planeamento da Produção é responsável por todas as tarefas relacionadas com a produção, nomeadamente lançamento da produção, escalonamento e controlo.
- **Escalonamento**. Trata-se dum sub-sistema do Planeamento da Produção, responsável pelas atribuição de tarefas aos diversos recursos do sistema, mediante diversos factores especificados na tarefa, no processo de fabrico, nos recursos, no próprio escalonamento ou mesmo como políticas globais do sistema. É composto por tarefas, produtos e recursos;
- **Recurso** é responsável pela representação lógica do recurso físico em qualquer actividade ou domínio de actuação em que o recurso é interveniente, seja em negociação ao nível do planeamento de processo ou durante o escalonamento. O holon de recurso deve modelizar as características e comportamentos do recurso físico, bem como representar internamente os seus estados, planos e conhecimento do sistema;

¹ Por “Planeamento de Processo” entende-se “holon de Planeamento de Processo”, que por sua vez deve entender-se como “holon responsável pelas tarefas de planeamento de processo”. Trata-se efectivamente de abuso de linguagem, contudo perfeitamente aceitável e compreensível pois é comum esta classificação noutros domínios.

- **Tarefa** representa a ordem de fabrico lançada no sistema. Deve representar a tarefa, assegurando-se que a tarefa (física) é executada correctamente. Deve incorporar os estados e comportamentos da tarefa física, representá-la em negociações com outras entidades como no caso do processo de escalonamento;
- **Produto** representa as possibilidades produtivas do sistema. O conjunto de todos os Produtos corresponde ao catálogo de produtos do sistema. Cada holon de Produto deverá conter as características físicas, processo de fabrico, comportamento e restrições de qualidade do produto. Refira-se que o holon Produto representa o tipo de produto, não o objecto fabricado. O(s) objecto(s) fabricado(s) são representados na Tarefa.

Duma forma breve e sucinta, são estes os componentes e as características fundamentais do sistema produtivo a ser implementado. No ponto seguinte, descrevem-se os vários intervenientes e componentes do sistema sobre o aspecto informacional e funcional da arquitectura.

4.1.2 Vista Informacional

A vista informacional diz respeito ao conteúdo informacional dos holons, bem como à informação transaccionada entre eles.

Na Figura 12, usando o formalismo OMT² representa-se as relações entre esses holons ao nível da informação, apresentando algumas das competências mais evidentes nessa área.

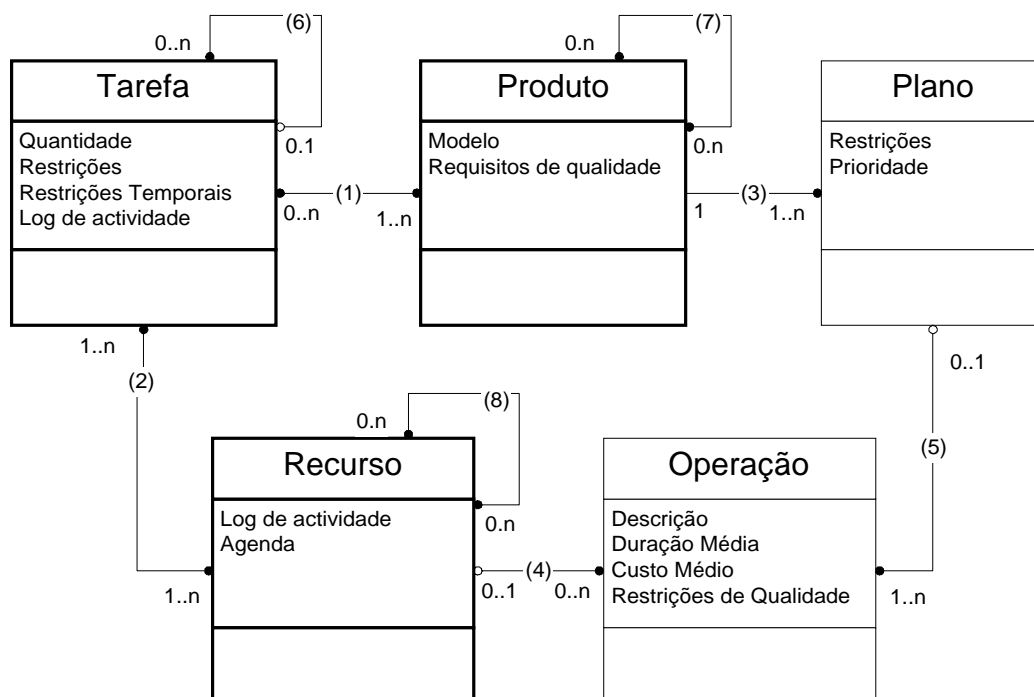


Figura 12 – Vista Informacional da Arquitectura³

² *Object Modeling Technique*, ou em português Técnica de Modelação baseada em Objectos.

4.1.2.1 Produto

Este holon é responsável pela representação dos tipos de produtos que o sistema é capaz de produzir. Para isso incorpora informação relevante para o ciclo de vida do produto:

- **Modelo**, que corresponde ao projecto ou descrição de características (estáticas e dinâmicas) do produto;
- **Plano de processo**, que corresponde à descrição do processo de fabrico. Ou seja, o conjunto das associações de operações, recursos, ferramentas e restrições, inerentes ao fabrico do produto. Podem existir vários planos de processo possíveis para o mesmo produto. Este elemento é modelizado como uma classe que será incluída na base de dados do planeamento de processos, pois a sua existência está ligada a vários produtos distintos;
- **Requisitos de qualidade e outras restrições** não especificados nem no modelo nem no plano.

4.1.2.2 Recurso

Este holon representa no sistema produtivo, os diversos meios de produção. Para isso inclui informação acerca de:

- **Operações**, que correspondem às tarefas possíveis de realizar pelo recurso quando associado a qualquer processo de fabrico, incluindo informação sobre tempo médios, custos e qualidade;
- **Agenda**. Representa uma lista de intervalos de tempo associados às tarefas que realizou, está a realizar ou tem programadas em cada intervalo;
- **Sub-recursos**. Representa a capacidade do holon ser um agrupamento de holons, ou seja uma holarquia. Uma célula de trabalho é por vezes constituída por diversos recursos distintos e endereçados separadamente. Isto é, conjuntos de recursos que por diversos motivos são tratados como um único para o exterior, mas que internamente devem ser tratados como recursos autónomos e distintos. Esta propriedade vem de encontro às formas intermédias estáveis de Simon, pois estes conjuntos comportam-se externamente como sistemas complexos autónomos estáveis;
- **Log de actividade** correspondente à lista de situações ou estados das actividades passados.

Podem ser considerados recursos produtivos elementos tais como: máquinas, sistemas de transporte, ferramentas, armazéns ou outros menos evidentes como o ser humano, paletas, ou mesmo energia e espaço físico [Bongaerts, 96]. Ao contrário do que acontece com Produto, cada holon Recurso representa uma entidade física (objecto) do sistema produtivo.

³ A parte inferior de cada entidade corresponde aos métodos ou funcionalidades, e nesse sentido são dispensáveis na vista informacional.

4.1.2.3 Tarefa

Este tipo de holon representa as tarefas ou ordens de fabrico chegadas ao sistema produtivo. Inclui informação acerca de:

- **Produto a fabricar**, da relação com Produto;
- **Quantidades a realizar**;
- **Restrições temporais**;
- **Outras restrições**;
- **Estado da tarefa**, correspondente ao estado do produto físico desde que a tarefa é lançada e durante a sua produção, armazenamento e expedição. Esta informação está dependente da relação com os Recursos e as suas Operações a realizar para a Tarefa;
- **Log de actividade** corresponde à lista de estados pelos quais a tarefa passou.

4.1.2.4 Planos e Operações

Os Planos e Operações, embora estejam representadas no diagrama, não são representados por holons, apenas por informação. Não há razão conceptual inequívoca para que assim seja, apenas a conjugação de várias alternativas e propriedades do conceito, que refere ser o holon uma entidade autónoma e cooperante.

Ora, quer Plano quer Operação são enormemente dependentes das entidades que as manipulam. O Plano por exemplo é definido pelo trabalho conjunto do Sistema de Projecto, e do Planeamento de Processo, tendo em consideração o Produto e mesmo os recursos que executam as Operações.

Se bem que esta descrição possa ser analisada segundo a necessidade de interligação e negociação de competências, um holon não pode ser apenas alvo de negociação e de gestão, ele próprio tem de ter capacidade de decisão e gestão dos seus estados e planos de actividade. Sem querer por de parte a hipótese de no futuro estes virem a ser modelizados por holons, nesta fase do desenvolvimento não se prevê vantagens nessa abordagem.

4.1.2.5 Inter-relações Informacionais

Em grande parte, as relações informacionais entre entidades já foram referidas ao descrever o tipo de informação que cada uma manipula, no entanto é importante sintetizá-las e enumerá-las distintamente. Nos pontos seguintes referem-se as mais importantes:

- Cada Produto poderá ser fabricado através de várias Tarefa (1) ⁴;
- Cada Tarefa refere-se ao fabrico de pelo menos um Produto (1);
- Cada Tarefa necessitará de recorrer a pelo menos um Recurso para que seja realizada (2);
- Cada Recurso poderá ser requisitado por uma ou mais Tarefa (3);

⁴ Este número corresponde ao arco que liga as diferentes entidades na Figura 12 e que motiva a relação.

- Cada Produto pode ser produzido segundo diferentes Plano (3);
- Cada Plano diz respeito a um e um só Produto (3);
- Cada Recurso executa várias Operação (4);
- A Operação pode ou não estar associada a um Recurso (pode existir apenas no Plano) (4);
- Cada Plano é constituído por várias Operação (5);
- A Operação poderá existir num Plano (pode estar relacionada com o Recurso) (5);
- Uma Tarefa pode ser constituída por outras Tarefa (6);
- Uma Tarefa pode fazer parte doutra Tarefa (6);
- Um Produto pode ser composto por vários Produto (7);
- Um Produto pode pertencer a vários Produto (7);
- Cada Recurso pode ser composto por outros Recurso (8);
- Cada Recurso pode fazer parte de outros Recurso (8).

Tendo em consideração estes últimos pontos, é possível caracterizar genericamente o tipo de informação transaccionada entre os três tipos de holons:

- **Produto ↔ Recurso:** Informação de Processo, correspondente à forma como determinado processo é executado num determinado recurso. Embora não por relação directa de informação, o modelo representa o fabrico do Produto por operações que o Recurso executa. Assim, é necessário que os dois tipos de entidade se relacionem estreitamente na altura da especificação do processo;
- **Produto ↔ Tarefa:** Informação de Produção. Corresponde à forma como determinado produto é fabricado. Especifica as operações de fabrico, ferramentas, configurações e regulações, restrições várias (e.g. Qualidade);
- **Tarefa ↔ Recurso:** Informação de Execução. Corresponde à informação inerente à execução da tarefa no recurso: comandos de execução (início, paragem, etc.), estados actuais da Tarefa e do Recurso, agendas/tempos, etc..

4.1.3 Vista Funcional

É objectivo desta secção analisar a arquitectura sob uma perspectiva funcional (I.3.3), ou seja analisar as funções e actividades individuais das entidades. A Figura 13, derivada da Figura 12, representa esses aspectos.

De seguida apresenta-se cada um dos elementos que compõem o sistema descrevendo-os sob o ponto de vista funcional.

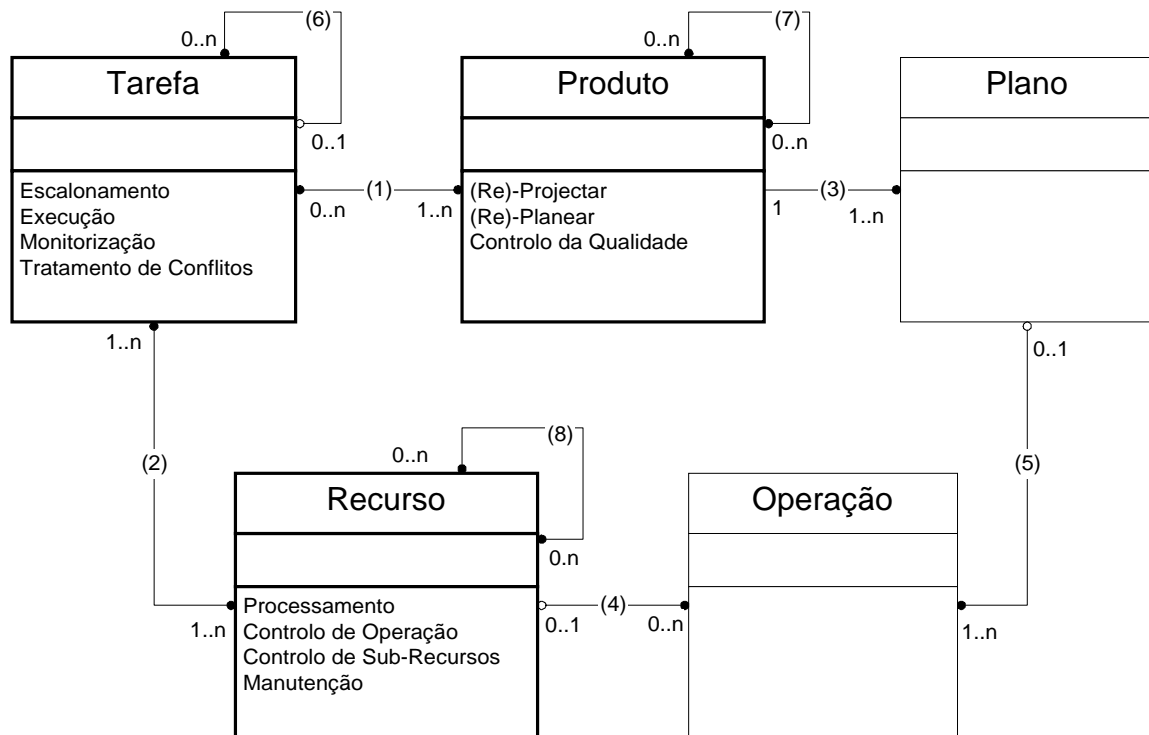


Figura 13 - Vista Funcional da Arquitectura

4.1.3.1 Produto

O tipo de holon Produto é responsável por todas as actividades envolvendo o projecto, processos e restrições do tipo de produto. Isto inclui tarefas de:

- Projectar e Reprojectar o produto, em conjunto com outras entidades (e.g. CAD⁵, CAE⁶);
- Planeamento e Replaneamento de processo (e.g. CAPP⁷);
- Controlo e Gestão de Qualidade (e.g. CAQ⁸).

4.1.3.2 Recurso

Este tipo de holon é responsável pela execução de actividades inerentes ao fabrico do produto. Entre outras tem as funcionalidades de:

- **Início do processo**, que corresponde à capacidade do holon decidir as suas próprias actividades e planos. Em última instância, o holon de recurso é que decide se executa ou não a tarefa que lhe foi requisitada;

⁵ CAD – *Computer Aided Design*, ou em português, Projecto Assistido por Computador.

⁶ CAE – *Computer Aided Engineering* ou português, Engenharia Assistida por Computador.

⁷ CAPP – *Computer Aided Process Planning* ou em português, Planeamento do Processo Assistido por Computador.

⁸ CAQ – *Computer Aided Quality*, ou em português, Qualidade Assistida por Computador.

- **Controlo de Operação ou actividades.** O holon é autónomo e reactivo, pelo que é responsável pelos seus próprios objectivos, actividades e estados;
- **Controlo das actividades dos sub-recursos.** Trata-se dum controlo ligeiro e refere-se mais à coordenação e verificação do que propriamente ao comando;

4.1.3.3 Tarefa

Este tipo de holon é responsável pelas actividades inerentes à execução da tarefa:

- **Escalonamento**, que corresponde às actividades que conduzem à definição da relação “onde” e “quando” será realizado “o quê”;
- **Gestão de Execução.** A tarefa deverá acompanhar o processo de fabrico nos recursos, e nesse sentido ter a capacidade de interferir na sua execução, inicializando, abortando, suspendendo, ou alterando as operações no recurso;
- **Acompanhamento** da execução da tarefa, de forma a serem atingidos os objectivos, nomeadamente no que se refere a restrições temporais, de qualidades e custos;
- **Conflitos.** A Tarefa é responsável pela resolução de conflitos. Um conflito (*deadlock* ou não) ocorre quando por algum motivo pelo menos duas entidades esperam por recursos que recorrentemente não lhes são disponibilizados. A Tarefa tem o dever de solucionar este tipo de problema, normalmente alterando qualquer parâmetro de execução ou negociando com os recursos.

4.2 Infra-estruturas

Tendo em consideração as características apresentadas sobre a arquitectura holónica, constata-se a necessidade de existência dum conjunto substancial de infra-estruturas tecnológicas.

Nas secções seguintes analisam-se as necessidades estruturais do sistema tendo em consideração a adopção do conceito holónico e da arquitectura apresentada. Dar-se-á especial atenção aos sistemas de comunicação e de informação, não só devido ao peso estrutural que têm no sistema mas também porque foi nessas duas áreas que o trabalho realizado mais incidiu.

Finalmente apresenta-se um conjunto de infra-estruturas desenvolvido no Centro de CIM do Instituto Superior de Engenharia do Porto, e que foi utilizado no desenvolvimento do protótipo de sistema holónico resultante deste trabalho.

4.2.1 Segurança

O requisito de segurança coloca-se em qualquer sistema mas em especial nos sistemas descentralizados pois não existe uma entidade única centralizada e responsável pela

manutenção da consistência, objectividade e validade das intenções das partes que constituem o sistema. Trata-se dum sistema estrutural e organizacionalmente dinâmico, constituído por entidades distribuídas, autónomas e que se pretendem colectivamente responsáveis pelos objectivos globais.

Como se pretende um sistema que se adapte às tendências evolutivas sugeridas no Capítulo 2 e que resultarão em última instância na adopção do paradigma da empresa virtual, as características de segurança e consistência dificilmente serão garantidas sem condições por qualquer entidade. Apesar disso existe um conjunto de requisitos que facilitarão a gestão do sistema com um mínimo de segurança e funcionalidade.

Como a segurança dum sistema é igual ao menor parâmetro de segurança de todos os constituintes do sistema, a segurança deve então ser analisada e coordenada com as diversas entidades e módulos funcionais que compõem o sistema.

Algumas das áreas em que a segurança é fundamental são:

- **Sistemas de informação**, pois a informação e conhecimento são das mais importantes pertencas de cada entidade autónoma. A forma como a informação é tratada e a sua consistência, semântica e pragmática são mantidas num ambiente tão heterogéneo como este, depende do sistema de informação e dos mecanismos fornecidos nesse sentido;
- **Sistemas de comunicação**, pois grande parte da funcionalidade do sistema é fornecida pelas comunicações, incluindo a informação e conhecimento transaccionado entre holons.

A segurança destes sistemas será tratada nas secções correspondentes: 4.2.2 Sistema de Comunicação e 4.2.3 Sistema de Informação.

4.2.2 Sistema de Comunicação

Como foi referido nos capítulos anteriores, as necessidades de comunicação destes sistemas evoluíram em relação às dos seus precedentes. Deixaram de ser os aspectos estáticos de interligação, caso da cablagem, protocolos de rede ou de transporte. Estes aspectos continuam a ser importantes, no entanto a atenção passa a centrar-se a níveis superiores do sistema, em ajuda directa às aplicações, cada vez mais orientadas ao conteúdo e menos à forma.

A análise do trabalho está a chegar a um ponto em que os requisitos de implementação começam a ser importantes e decisivos, contudo, nos próximos pontos descrever-se-ão alguns dos requisitos verificados ao longo do trabalho, referindo pormenores de implementação apenas quando for imprescindível.

4.2.2.1 Troca de Mensagens

Embora já seja bastante comum os sistemas de comunicação incluírem as características aqui descritas, é importante que sejam mencionadas. Assim, os sistemas de comunicação deverão possibilitar a comunicação de mensagens segundo três métodos:

- **Ponto a ponto.** Corresponde à troca de mensagens bilaterais. A mensagem é emitida por um holon e recebida pelo outro e mais nenhum holon tem acesso à mensagem ou conhecimento de que ocorreu a transacção;
- **Grupo.** Corresponde à troca de mensagens num grupo predefinido de holons. Determinado holon (pertencente ou não ao grupo) emite uma mensagem, e cada elemento do grupo recebe garantidamente e em simultâneo essa mensagem. Este método também é conhecido por *multi-cast*;
- **Broadcast** correspondente ao envio não direccionado de mensagens, e que podem ser recebidas por todos os elementos dentro duma comunidade. Este serviço, por norma não é garantido, isto é, não há garantias que a mensagem seja recebida por toda a comunidade.

4.2.2.2 Sincronismo

Esta secção analisa a comunicação sob o aspecto de sincronismo. Descreve-se em seguida o que se entende por comunicação síncrona e assíncrona bem como a necessidade de cada um dos tipos.

4.2.2.2.1 Comunicação Síncrona

Os holons deverão ter capacidade de dialogar, o que significa envio e recepção de mensagens. Entende-se por comunicação síncrona, a forma de transacção de mensagens em que o receptor espera a recepção da mensagem num determinado momento. Ou seja, o seu processamento pára, com o objectivo de receber a mensagem, que tanto pode chegar “imediatamente” como demorar (Figura 14- Fase 1).

O que está em causa não é o muito ou pouco tempo de espera, mas sim o facto do receptor se manter à espera da mensagem sem realizar outras actividades.

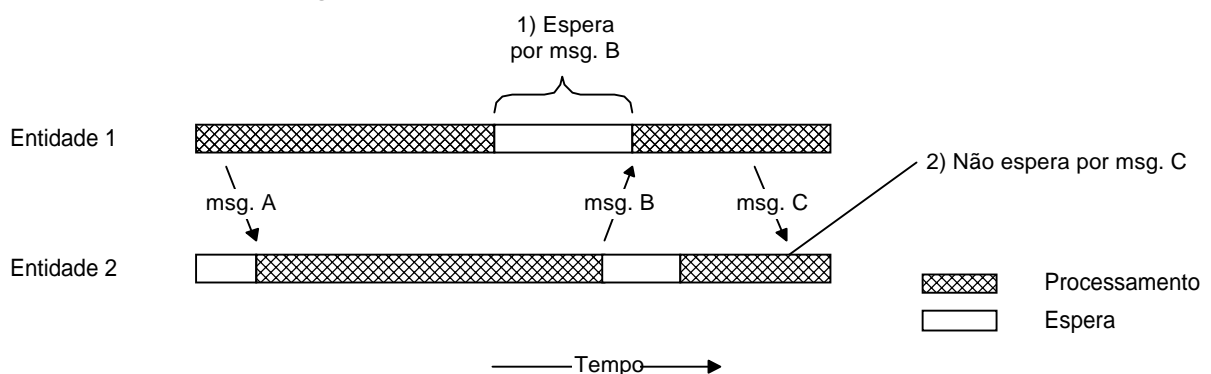


Figura 14 - Sincronismo e Assincronismo na comunicação

Por vezes, o sistema é especificado de tal forma, que o processamento não pode continuar sem a recepção de determinadas mensagens. Nesse sentido, a solução é parar o processamento à espera das mensagens necessárias.

4.2.2.2 Comunicação Assíncrona

O holon deverá ter a capacidade de processamento e comunicação independentes, ou seja, o processamento não deverá afectar a recepção de mensagens, e aquando da chegada duma mensagem, o holon deverá ser notificado e a mensagem armazenada. As mensagens recebidas deverão ser colocadas numa fila para serem oportunamente processadas, como se representa na Figura 14- Fase 2).

Adicionalmente, o sistema de comunicação poderá por si só detectar o tipo da mensagem, e disparar automaticamente as funções de processamento respeitantes.

A utilidade deste tipo de comunicação prende-se com incertezas do processo. Por exemplo, o momento em que a entidade 1 envia a mensagem A para a entidade 2 não é conhecido previamente (e.g. encomenda do cliente), pelo que não é possível à entidade 2 estar à espera. O caso da mensagem C é semelhante se se imaginar que a mensagem é opcional, pelo que o processo decorre sem interrupções quer ela chegue quer não.

4.2.2.3 Pooling e Encaminhamento

4.2.2.3.1 Pooling

Este requisito prende-se com a fiabilidade e a própria natureza do sistema, espera-se que tenha uma estrutura e organização dinâmica.

- **Fiabilidade.** O holon baseia as suas propriedades de coordenação e cooperação nos sistemas de comunicação. Sem se entrar em pormenores, o holon está sujeito a distúrbios e erros de funcionamento quer internos quer externos, o que poderá deixar o holon momentaneamente inacessível e acarretar perdas significativas de informação. Nesse sentido é fundamental que aquando do seu restabelecimento o holon seja alertado e informado do estado do sistema e de outra informação relevante;
- **Dinamismo.** A holarquia é uma estrutura de constituição e organização dinâmica. No sentido de ser mantida a consistência e funcionalidade da holarquia, à medida que a holarquia vai sendo alterada, os holons que são agrupados ou separados, deverão ser informados do estado do sistema e da informação transaccionada mais importante. Esta funcionalidade permite ao holon ser posto ao corrente das diversas conversações a decorrer e de outra informação igualmente importante para que possa ser considerado parte integrante da comunidade.

Nesse sentido é necessário que haja mecanismos exteriores ao sistema produtivo (considerando a arquitectura definida) que armazenem as mensagens e outra informação relevante transaccionada. Posteriormente devem fazer a reposição possível. Ao conjunto destas actividades denomina-se serviço de **pooling**⁹. O serviço de *Pooling* é um serviço que não

⁹ Da terminologia anglo-saxónica, este termo não tem tradução com o sentido pretendido. Na terminologia original é usado com o sentido de capacidade de armazenar e posteriormente disponibilizar um conjunto de elementos.

se considera auto-funcional, no sentido em que não é o próprio sistema que define quando deve actuar, mas sim em situações em que é requisitado por outras entidades. Por exemplo, determinada Tarefa estava a negociar com determinado Recurso, quando o Recurso por algum motivo abandonou o sistema. Porém, a Tarefa para não parar o processamento, e acreditando que o Recurso aderirá ao sistema novamente, requisita o serviço de *Pooling* para que este se encarregue de fazer chegar ao Recurso as mensagens que esta lhe indicar. Quando o serviço de *Pooling* tiver conhecimento que o Recurso já está presente no sistema, fará a transmissão das mensagens.

4.2.2.3.2 Encaminhamento

Adicionalmente poderá ser necessário um serviço de encaminhamento de mensagens. O holon poderá não estar acessível de qualquer parte do sistema, ou ainda pior, os seus acessos poderão ser condicionados a um número limitado de interligações. Nesse sentido, deverá haver mecanismos de encaminhamento de mensagens em função da acessibilidade do holon. Imagine-se, por exemplo, que um conjunto de holons apenas pode ser acedido do exterior através de um conjunto limitado de outros holons, que se encarregarão de lhes fazer chegar a informação e mensagens aos primeiros. Nestes termos seria necessário que os holons emissores conhecessem os holons interface e emitissem nesse sentido. Será no entanto mais simples se houver holons com a competência de determinar as acessibilidades e de encaminharem a informação até ao holon pretendido. Ao conjunto das tarefas agora descritas denomina-se serviço de **Encaminhamento**.

4.2.2.4 Linguagem de Comunicação

A linguagem de comunicação pretende ser um veículo de transmissão de informação entre dois ou mais holons. Quanto mais holons e outras entidades puderem comunicar e quanto mais vasto for o conhecimento transmitido, melhor.

À imagem do que acontece com as linguagens humanas, não basta o conhecimento da sintaxe da linguagem para se comunicar. Existe também e sobretudo, o conhecimento inerente aos dados transmitidos, e que difere de domínio para domínio, de holon para holon. Ou seja, o conteúdo da mensagem transmitida varia independentemente da linguagem usada. Assim, a definição ou adopção duma linguagem lida com três dimensões:

- **Complexidade Vs. Capacidade.** A linguagem de comunicação deverá ser facilmente compreensível ao mesmo tempo que deverá ser capaz de descrever uma vasto leque de conhecimento, à imagem do que acontece com as linguagens de comunicação humanas;
- **Versatilidade Vs. Ambiguidade.** A linguagem deverá ser capaz de representar e transmitir diversos tipos de conhecimento dependentes do domínio de discurso, mantendo ao mesmo tempo um conteúdo claro e inequívoco.

Assim, de uma forma simplista, será vantajoso a definição ou adopção de linguagens de comunicação que permitam a especificação de diferentes formas de conteúdo e de contexto, pois linguagens à imagem das do ser humano tornar-se-á praticamente impossível utilizar.

Embora a linguagem de comunicação venha a ser necessária em futuras evoluções do sistema, no actual estágio de desenvolvimento será secundária ou mesmo dispensável, pois espera-se que o sistema comunique por mensagens com conteúdo fixo, inseridas numa determinada sequência ordenada (conversação) o que permitirá determinar o contexto inequivocamente.

4.2.2.5 Serviço de Nomes

Um sistema holónico é uma estrutura holárquica (3.2.2.3), constituído por entidades distribuídas e autónomas, onde a consistência e objectividade do sistema é muitas vezes posta em causa devido a diferentes objectivos e heterogeneidade dos holons. Ou seja, o sistema é altamente dependente das intenções de cada entidade, da forma como se comporta socialmente e cumpre um conjunto mínimo de protocolos.

Sob um ponto de vista de comunicações, será necessário que antes de qualquer sociabilização, a entidade seja alvo de verificações comportamentais mínimas. Com esse objectivo definiu-se como obrigatório o registo do holon na comunidade através da validação do par Identificação - Palavra-chave. Ou seja, cada holon deverá fornecer a identificação e palavra-chave ao serviço de nomes, que dependente do resultado da autenticação aceitará ou não a sua participação na comunidade.

Dado que se trata da implementação dum protótipo, a atribuição da Palavra-chave poderá ser realizada estaticamente. O serviço de identificação definirá uma palavra chave que será incorporada estaticamente no holon.

4.2.2.6 Serviço de Informações ou Directorias

Entende-se por serviço de informações ou directorias o conjunto de entidades e actividades que gerem informação acerca das capacidades, funcionalidades e serviços da comunidade. Existem vários exemplos deste serviço. Por exemplo na comunidade telefónica as Páginas Amarelas[®], numa comunidade de computadores são comuns aplicações como YP¹⁰ e NIS¹¹, na internet existem serviços idênticos (e.g. NetBI, X.500).

É comum caracterizar o serviço como agregando pares de valores correspondentes a “quem” é “o quê”. No entanto, essa descrição é apenas uma das formas de disponibilização da informação, pois normalmente a informação é mais complexa. A forma como a informação é disponibilizada varia em função do serviço e da informação.

Numa comunidade de holons este serviço é um requisito fundamental. A comunidade é estruturalmente dinâmica, o que implica que as funcionalidades dum holon variem em função dos holons que o constituem e da sua posição na holarquia.

[®] Páginas Amarelas é uma marca registada de ITT

¹⁰ YP – *Yellow Pages*, ou em português: Páginas Amarelas.

¹¹ NIS – Network Information Service, ou em português: Serviço de Informação de Rede.

Por exemplo, determinado holon tem um conjunto de holons e funcionalidades que aumentam e diminuem à medida que são agregados e desagregados holons da holarquia. Além disso, determinado holon poderá ter numa holarquia um conjunto de competências e noutra holarquia outro conjunto diferente.

Assim, é necessário um serviço que realize a gestão deste tipo de informação e a disponibilize em conformidade à comunidade. É comum considerar este sistema como uma generalização do serviço de nomes e autenticação, no entanto, existem várias questões inerentes à gestão da informação que o tornam substancialmente diferente. Este tema será analisado novamente em 4.2.3.2.

Como se constata, esta questão tanto poderá ser tratada como uma questão relacionada com sistemas de comunicação como ser abordada pelo ponto de vista de gestão de informação. No entanto, neste trabalho considera-se que os mecanismos de comunicação devem fornecer um conjunto de primitivas funcionais que possam ser particularizadas para o sistema em causa. Por esse motivo foram referidos nesta secção.

4.2.3 Sistema de Informação

O sistema de informação dum sistema holónico de produção é necessariamente diferente dum sistema de informação tradicional: centralizado, estrutural e organizacionalmente estático. O holon tem uma existência autónoma o que se reflecte na informação associada (3.3.3). Nos próximos pontos serão definidos e analisados alguns requisitos colocados aos sistemas de informação do holon, que foram sendo observados durante o trabalho de desenvolvimento.

4.2.3.1 Representação

Analisa-se neste ponto as formas de representação da informação e conhecimento no holon. Para além da definição de estados internos, externos e planos, a informação do holon poderá representar o comportamento deste e pretende-se que seja dinâmico e evolutivo. Esta abordagem expande de sobremaneira a importância do sistema de informação. Por norma a representação da informação está muito dependente das formas de implementação e em especial das linguagens de programação. A importância da linguagem de implementação toma acrescida importância no que respeita à definição de comportamentos dinâmicos.

Nos próximos pontos analisar-se-ão três abordagens possíveis de representação de conhecimento e comportamento.

4.2.3.1.1 Representação procedimental

- **Informação.** A representação de dados é altamente dependente da linguagem de programação ou base de dados, e como na maior parte dos casos as linguagens são compiladas, os tipos ou objectos são predefinidos em tempo de programação e não são alteráveis durante execução. A dinâmica do tipo da informação é mínimo;

- **Comportamentos.** Na abordagem procedimental, descreve-se toda a sequência e passos necessários à execução do procedimento. Caracteriza-se pelo pouco dinamismo e alterabilidade em tempo de operação, ao mesmo tempo que evidencia elevado desempenho e portabilidade¹².

As suas técnicas de implementação são as linguagens de programação procedimentais, das quais se destaca o Cobol, o C, o C++, o Java e o Basic. Na sua grande maioria são linguagens compiladas estaticamente, ou seja, o código fonte é traduzido para código máquina antes de execução. Isto possibilita um elevado desempenho mas ao mesmo tempo pouca ou nenhuma alterabilidade durante a execução. Contudo são sistemas muito portáveis devido à compilação estática, pois o código fonte é sempre o mesmo independente da máquina física ou sistema operativo. O processo de compilação consiste em usar um compilador específico da máquina onde a aplicação irá ser executada, traduzindo o código fonte para código nativo da máquina.

4.2.3.1.2 Representação declarativa

- **Informação.** A representação da informação baseia-se fundamentalmente em listas, o que não sendo muito eficiente na actual representação informática, é uma abordagem com forte formalismo matemático e de fácil compreensão e representação;
- **Comportamentos.** A representação é efectuada através da descrição do problema e não da forma de o resolver. Ou seja, o foco é colocado no “que fazer” e não no “como fazer”. Esta abordagem permite uma especificação menos imperativa do processo, o que se adapta melhor a aplicações cujo processo é variável.

Esta é uma abordagem típica na inteligência artificial, na qual a formalização BDI¹³ é a mais conhecida. As linguagens de programação mais comuns neste tipo de representação são o LISP e o Prolog.

4.2.3.1.3 Representação reflexiva

A representação reflexiva¹⁴ baseia-se no princípio de reflexão. “Reflexão é entendido como o processo de raciocinar ou actuar sobre si próprio”, e alterar o comportamento no decorrer da operação. Este tipo de representação está intimamente ligado à linguagem de implementação das quais as mais representativas são o Persistent Java¹⁵ e o Napier 88.

- **Informação.** A estrutura do tipo encontra-se junto com os dados, o que permite a sua alteração e persistência independentemente do programa que a manipula.

¹² O termo portabilidade significa facilidade em ser transportado. Neste caso refere-se a portabilidade entre sistemas diferentes.

¹³ BDI – *Believes Desires Intentions*, ou em português: Crenças, Desejos e Intenções.

¹⁴ Esta expressão ou o tipo de representação não é referida na bibliografia utilizada, no entanto, pelo facto da representação de informação ser baseada no mecanismo de reflexão, parece ser a expressão ideal para denominar uma forma de representação que tem diferenças significativas das outras duas.

¹⁵ Persistent Java, ou em português, Java Persistente, é uma linguagem de programação derivada da linguagem de programação Java, cujo intuito principal é fornecer persistência ortogonal aos objectos manipulados, isto é, persistência para além da duração da execução do programa ou do próprio programa. Os mecanismos inerentes a estas propriedades e funcionalidades, desenvolvem no sistema características que permitem por exemplo a alteração de código do programa em execução.

- **Comportamento.** O programa tem capacidade de avaliar e alterar o seu próprio comportamento durante execução.

Esta representação é comparável com a procedimental, no sentido em que se baseia em algoritmos, e com a declarativa pois o algoritmo pode alterar-se durante a execução. A estrutura da informação é variável ao longo da execução.

Descreveram-se sucintamente três tipos de representação de conhecimento, incluindo a representação reflexiva. O desenvolvimento da programação reflexiva é ainda recente e a sua aplicação no domínio dos sistemas holónico ou multi-agente não foi ainda referenciada. Embora a representação reflexiva seja muito promissora e a representação declarativa altamente vocacionada para sistemas inteligentes, os requisitos funcionais necessários durante o trabalho de implementação limitam-se à representação procedimental, a mais tradicional e estática das três.

4.2.3.2 Disponibilização de Informação

De uma forma pouco formal, entende-se disponibilização de informação como sendo o acto consequente a um pedido de informação.

Existem três formas possíveis de requisição/disponibilização da informação:

4.2.3.2.1 Ponto-a-Ponto

Neste tipo de gestão, o requerente e o proprietário da informação são os intervenientes. Quando o requerente deseja informação, contacta o proprietário que em função do requerente, do pedido e doutros quaisquer factores, lhe envia ou não a informação pretendida.

4.2.3.2.2 Broadcast

Neste tipo de gestão, duas situações podem ocorrer:

- O proprietário deseja “publicar” informação, e nesse sentido envia para toda a comunidade a informação, não sendo contudo obrigatório que todos os holons processem a mensagem;
- O requerente deseja informação mas não conhece o seu proprietário, pelo que envia pedidos para toda a comunidade. Os holons que desejarem, respondem à mensagem.

4.2.3.2.3 Blackboard

Na disponibilização de informação baseada em *blackboard*¹⁶, o proprietário deposita a informação que deseja publicar numa entidade responsável e amplamente reconhecida como tal. Essa entidade, o Quadro Preto, é responsável pelo armazenamento e posterior disponibilização da informação aos holons requerentes.

¹⁶ *Blackboard* significa em português “Quadro Preto”. O termo é adoptado em alusão aos quadros negros de argila que servem para deixar ou publicar informação numa comunidade ou organização.

Este tipo de sistema não garante ao proprietário da informação, que esta seja utilizada pelo(s) destinatário(s) (se existirem) ou que seja usada correctamente e por quem de direito. Além disso, pressupõe que se trate de informação pública, o que nem sempre é correcto, pois muita da informação é transaccionada bilateralmente. Ou seja, por métodos tradicionais, o informador só disponibilizaria informação ao requerente devido ao conhecimento que detém dele. Nestas circunstâncias o sistema de quadro preto não funciona a não ser que à informação estejam associadas regras e autorizações de manipulação. Esta consideração será o tema para o ponto 4.2.3.2.5.

Este tipo de disponibilização de informação será potencialmente utilizada no Serviço de Informações ou Directorias, pois toda a informação pública necessária sobre a comunidade poderá ser publicada no quadro preto e aí requerida quando necessária.

4.2.3.2.4 Linguagem de Requisição e Ontologias

Pretende-se que a linguagem de requisição normalmente denominada linguagem de inquérito¹⁷, seja uma forma de especificação de informação (requisitada e disponibilizada) entre um conjunto de holons. Como tal, está intimamente ligada à informação a manipular e à interpretação que as partes fazem do conteúdo. Ou seja, não só sintaxe e semântica são importantes, mas também pragmática, o que implica ontologias associadas à informação. Como é evidente, estas necessidades tornam-se mais importantes quanto mais heterogêneos forem os holons e a informação manipulada.

Embora possa ser um ponto potencialmente importante nas futuras evoluções do sistema, a definição duma linguagem de inquérito e ontologias é secundária, pois durante este trabalho, os requisitos de informação limitar-se-ão a um conjunto bastante restrito e homogêneo numa comunidade homogênea de holons desenvolvida em conjunto e partilhando interfaces comuns.

4.2.3.2.5 Segurança

Este elemento é de fundamental importância na gestão da informação e por conseguinte deve fazer parte dos componentes do sistema de informação. Dois requisitos são fundamentais:

- **Permissões de manipulação**, ou seja “quem” pode manipular a informação;
- **Regras de manipulação**, corresponde aos métodos de manipulação da informação, ou seja “como”, “quando” e “onde” a informação pode ser manipulada.

Estes dois requisitos são completamente suportados por mecanismos de objectos distribuídos¹⁸ como os disponibilizados pela tecnologia DCOM¹⁹, CORBA²⁰ ou RMI²¹, pelo

¹⁷ Linguagem de inquérito advém da terminologia anglo-saxónica *Query Language*.

¹⁸ Esta expressão pretende representar a tecnologia que fornece mecanismos de interfaces, através das quais se pode realizar comunicação baseada em objectos.

¹⁹ DCOM – *Distributed Component Object Model*. É uma arquitectura de comunicação e gestão de objectos distribuídos desenvolvida pela Microsoft Co..

que a sua adopção será bastante vantajosa. Aliás, esta tecnologia não só beneficiaria as questões de segurança da informação, como também traria benefícios enormes de coerência e facilidade de gestão da disponibilização.

Neste momento porém, será suficiente a utilização de métodos que garantam a coerência e validade da informação. Uma potencial forma de gestão passa pela definição de classes de objectos com métodos de manipulação conhecidos e disponíveis pelos intervenientes.

O requisitante pedirá a informação ao proprietário, que a disponibilizará em função das suas permissões. Este método contudo não garante a coerência, consistência e validade da informação, pelo que deverão ser impostas regras semânticas e pragmáticas de manipulação, como por exemplo, limitar a validade da informação.

4.2.4 Conversações

O tema já foi anteriormente abordado em 3.1.3.4, e o que foi considerado na altura para Sistemas Multi-Agente continua agora válido para a arquitectura holónica e em especial para o sistema pretendido.

Conversação é um conjunto ordenado (não necessariamente sequencial) de mensagens transmitidas entre dois ou mais agentes, que fazem sentido e são mutuamente compreendidas pelos intervenientes, quando utilizada com um objectivo específico predefinido. A conversação sistematiza e define as ocorrências e tipos das mensagens de forma que o conjunto de mensagens possíveis num determinado momento da conversação seja limitado, mutuamente conhecido e correctamente utilizado.

Este assunto foi propositadamente excluído do sistema de comunicação, na medida em que as conversações dependem em larga medida da aplicação, e embora as potenciais conversações possam ser sistematizadas para um conjunto limitado [Bradshaw, 97], haverá sempre dependência em relação ao processo em execução e necessitarão de ser particularizadas.

4.2.4.1 Forma e Conteúdo

O tipo de conversação, varia desde a simples troca de valores numéricos de controlo até negociações complexas e incertas, com múltiplas iterações e intervenientes e englobando conhecimento complexo. As necessidades actuais do sistema situam-se entre estes dois extremos.

Por um lado pode haver múltiplos intervenientes e várias iterações, por outro são definíveis e caracterizáveis na especificação.

A informação transmitida poderá ser complexa (e.g. plano de processo dum produto), porém predefinida no tipo de mensagem e contexto.

²⁰ CORBA - *Common Object Request Broker Architecture*, é uma arquitectura standard de comunicação e gestão de objectos distribuídos, desenvolvido pelo OMG. O OMG-*Object Management Group* é um consórcio criado por várias empresas com o objectivo de desenvolver o uso e normalização de tecnologia baseada em objectos.

²¹ RMI - *Remote Method Invocation*, é outro método ou tecnologia de comunicação e gestão de objectos distribuídos.

4.2.4.2 Controlo e Acompanhamento

A conversação requer controlo e acompanhamento, pelo que há necessidade de mecanismos de controlo do processo de negociação entre holons.

4.2.4.2.1 Time-out

Um holon não poderá estar indefinidamente à espera da resposta doutro. O intervalo de tempo que deve ser esperado pelo holon denomina-se *time-out*²². No entanto, o tempo de espera deve ser dependente do estado da conversação e dos intervenientes, o que invalida a sua definição ao nível do sistema de comunicação.

4.2.4.2.2 Informação

É necessário que exista armazenamento de informação associada à conversação. O estado da conversação, os intervenientes e valores de mensagens anteriores são elementos comuns a qualquer conversação e que faz todo o sentido serem geridos pelo processo inerente à conversação e não à aplicação.

4.2.4.2.3 Sincronização

Entende-se por sincronização de conversação, as actividades de controlo da conversação que gerem o momento e a ordem de processamento das mensagens.

Determinada conversação é composta por um conjunto de mensagens ordenadas, mas o facto dessa ordem não ser cumprida, não é forçosamente sinónimo de erro fatal e motivo para que a conversação seja abortada. Podem ocorrer situações em que a chegada das mensagens ocorra antes do previsto pela conversação, contudo se forem armazenadas (4.2.4.2.2) e disponibilizadas para aplicação no momento correcto, a conversação poderá continuar sem desvios.

A Figura 15-a representa uma conversação por propagação de restrições (3.1.3.4.3) em que o holon A envia para B e para C um aviso que se irá iniciar a conversação. O holon B ao receber o aviso inicia o processo, que inclui o envio das restrições para C. O holon C ao receber as restrições deverá processá-las e enviar os resultados para A. Na Figura 15-b, o processo é ligeiramente diferente pois A não enviou atempadamente o aviso a C, o que implica que este não saiba o significado total da mensagem. No entanto, em vez de a descartar, armazena-a para posterior utilização. Quando finalmente chega o aviso com o resto da informação necessária, o holon C recupera a mensagem anterior e o processo segue correctamente.

²² *Time-out* é uma expressão anglo-saxónica semelhante à expressão portuguesa “tempo esgotado”, no entanto, a sua utilização está tão vulgarizada que a sua utilização é recomendada.

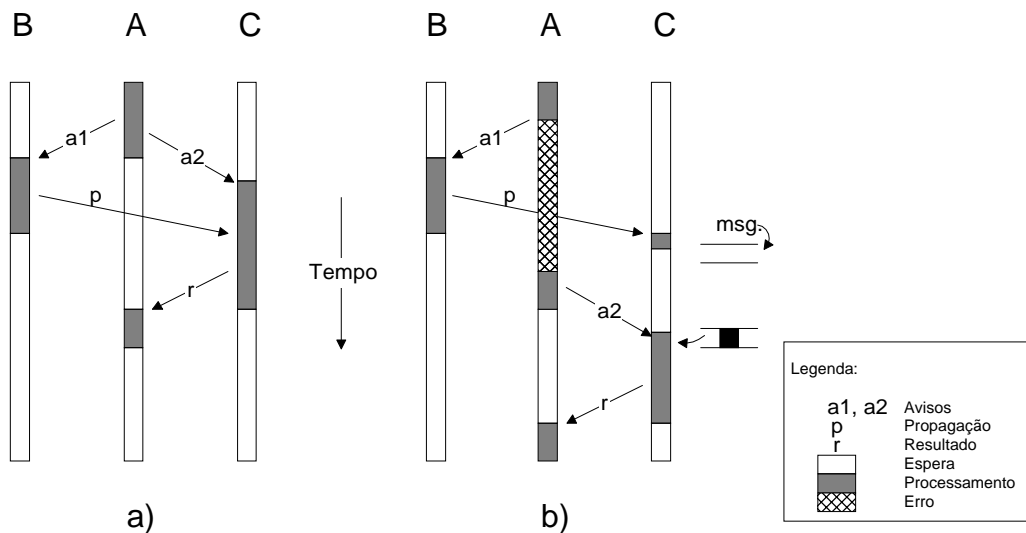


Figura 15 - Sincronismo na conversação

4.2.5 Infra-estrutura adoptada

Tendo em consideração os pontos anteriores, constata-se a necessidade de definição ou adopção de um conjunto de primitivas²³ que clarifique, facilite e sistematize o trabalho de desenvolvimento. Clarificar porque as descrições anteriores são por vezes ambíguas e conduzem a problemas de implementação, facilitar porque se advinham constantes dificuldades de implementação, nomeadamente da interface de comunicações, e sistematizar porque é necessário que se usem sempre os mesmos mecanismos e tecnologias não só por questões de desenvolvimento mas também de coerência e diminuição de falhas potenciais.

O trabalho desenvolvido no decorrer desta tese, realizou-se no âmbito dum projecto mais vasto de desenvolvimento de sistemas inteligentes de produção a decorrer no Instituto Superior de Engenharia do Porto no âmbito do projecto europeu do Esprit-IMS. Este projecto iniciou-se em 1996 com os trabalhos de doutoramento dum docente do Instituto, Engenheiro Paulo Sousa, que desde logo constatou algumas das necessidades descritas agora. Em 1996, contudo, não existiam disponíveis ferramentas de desenvolvimento de sistemas holónicos ou multi-agente, sendo a informação sobre o assunto praticamente inexistente²⁴. Dadas as circunstâncias, Paulo Sousa entendeu iniciar o desenvolvimento de tais infra-estruturas. Os primeiros resultados apareceram em finais do Verão de 1997 e foram sendo corrigidos e aperfeiçoados no decorrer deste trabalho. Trata-se dum pacote de *software*, denominado HFW-Holonic Framework, que fornece infra-estruturas de desenvolvimento que permitem obviar alguns dos requisitos agora descritos.

²³ A um conjunto de primitivas orientadas ao desenvolvimento num determinado domínio de aplicação denomina-se infra-estrutura de desenvolvimento. Em terminologia anglo-saxónica, o mesmo significado é suportado pelo termo *framework*. Este termo também será usado no decorrer da descrição.

²⁴ No Anexo II apresenta-se uma breve comparação de *frameworks* entretanto surgidos, quer academicamente quer comercialmente.

4.2.5.1 Descrição Genérica

O desenvolvimento de *framework* segue a abordagem baseada em objectos, e dessa forma tira partido de características como reutilização e segurança.

Foi desenvolvido em Microsoft Visual C++ e recorre à reutilização dos mecanismos fornecidos pelo *framework* MFC²⁵, em especial o grupo de classes que suportam os mecanismos de comunicação baseados em *sockets*²⁶

Esta infra-estrutura apresenta-se para o exterior como uma DLL²⁷ que fornece um conjunto de classes e outras funcionalidades, sobre as quais se desenvolve a aplicação.

De todas as classes disponibilizadas a mais importante é CHolon, pois engloba funcionalidades que gerem praticamente todas as outras, que por sua vez disponibilizam ainda outros serviços. É a partir desta classe que o holon deve ser desenvolvido, pois CHolon foi anteriormente derivada de CWinApp (classe base das aplicações MFC) pelo que herda as características e funcionalidades das aplicações MS-Windows mais comuns.

Os mecanismos de comunicação são baseados em *sockets* (Síncronos e Assíncronos) mas como são inseridos na classe CHolon, bem como funcionalidades de manipulação, as tarefas de comunicação ficam bastante simplificadas.

Descrevem-se de seguida os pontos mais importante do *framework* e a forma como o desenvolvimento do holon é realizado. A Figura 16 representa esquematicamente a estrutura interna e de funcionamento.

4.2.5.2 Sistema de Comunicação

Os mecanismos de comunicação são disponibilizados através de *sockets*, o que desde logo garante grande conectividade pois é uma tecnologia amplamente disponível em todas as plataformas e sistemas operativos.

As comunicações, podem ser síncronas e assíncronas tal como foi requerido, porém as conexões apenas podem ser efectuadas ponto a ponto ou em *broadcast*, pois as dificuldades de implementação de conexões associadas a protocolos de grupo com as classes do MFC são elevadas.

²⁵ MFC-*Microsoft Foundation Classes* é um conjunto de classes desenvolvido pela Microsoft e inserido no ambiente de desenvolvimento do Visual C++. Embora nas primeiras versões as infra-estruturas disponibilizadas se destinassem fundamentalmente a simplificar o desenvolvimento de aplicações MS-Windows tradicionais, com a sua evolução os serviços e mecanismos fornecidos aumentaram, e hoje em dia cobrem diversos domínios tecnológicos, incluindo comunicações.

²⁶ *Sockets* é um método de comunicação em rede ou no mesmo computador, entre uma aplicação cliente e outra servidora. O termo *Socket* pode ser definido como a ponta duma conexão.

²⁷ DLL-*Dynamic Linking Library* é um ficheiro que contém uma ou mais funções compiladas, ligadas e armazenadas separadamente do processo que as usa. O sistema operativo cria então ligações com a DLL, no espaço de endereçamento do processo, quer quando o processo arranca quer mesmo quando este está a correr. O processo é depois capaz de tratar as funções da DLL como se estivessem no próprio programa.

4.2.5.2.1 Protocolo de Conexão

O holon pode ter várias conexões, sendo associado a cada uma delas um protocolo. No contacto preliminar com outro holon é especificado o tipo de protocolo a cumprir, se entre ambos houver entendimento comum do protocolo a conexão é activada, caso contrário é encerrada. Todo o processo de contacto, validação e activação da conexão e protocolo é efectuado pelo próprio *framework* através do Protocolo de Conexão.

Depois da conexão-protocolo ser aceite, o papel do Protocolo de Conexão passa a ser o de manutenção da conexão e entrega das mensagens ao *Router* de Mensagens. Quando ocorre algum evento, este redirecciona-o para o protocolo associado à conexão onde ocorreu, o que inclui antes de tudo o evento de tentativa de conexão, que será em última instância tratado pela aplicação que poderá aceitar ou recusar a conexão.

4.2.5.2.2 Router de Mensagens

O *Router* de Mensagens é responsável pelo correcto encaminhamento das mensagens para a conversação a que esta se destina. O processo é efectuado recorrendo às propriedades da programação orientada a objectos, nomeadamente à herança, ao polimorfismo e a apontadores virtuais.

Embora a cada conexão esteja associado um e um só protocolo de aplicação, o *framework* definiu um tipo de mensagem que é tratado pelo próprio *framework*, o que permite predefinir e dotar os holons de funcionalidades genéricas e comuns à comunidade. Assim, na altura da criação da mensagem, que é da responsabilidade do *framework*, é definido o tipo da mensagem:

- **Privada**, significa que é da responsabilidade do *framework* o seu processamento, pelo que é direccionada para o Protocolo Privado;
- **Aplicação**, significa que deverá ser encaminhada para o protocolo ao nível da aplicação.

Embora as mensagens e funcionalidades associadas ao protocolo privado estejam nesta altura confinadas à gestão de informação da base de dados pública, poderão ser desenvolvidas funcionalidades noutros domínios.

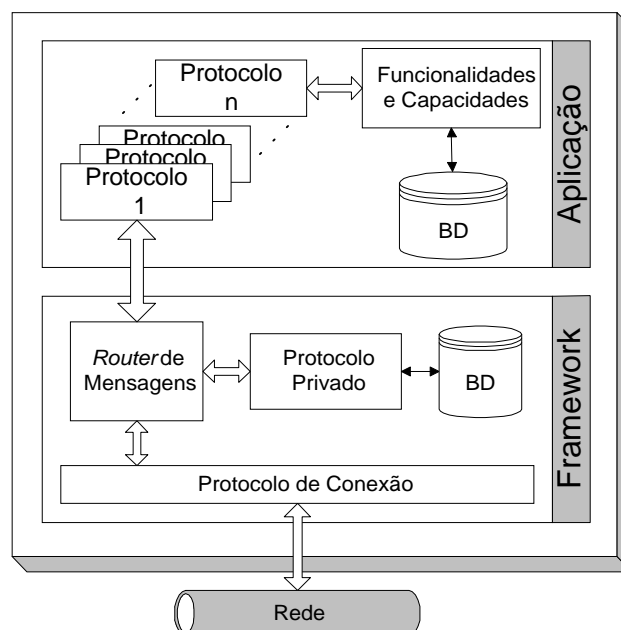


Figura 16 - Estrutura interna esquemática do HFW: Protocolos e BD

4.2.5.2.3 Protocolo Privado

Este protocolo é responsável pelo processo de tratamento das mensagens privadas, o que implica em muitos casos a resposta ao interlocutor. Os procedimentos respectivos ao tratamento de cada mensagem fazem parte do *framework*, pelo que o desenvolvimento apenas tem de se preocupar se as funcionalidade genéricas estão de acordo com as especificações para o holon.

4.2.5.2.4 Protocolo de Aplicação

Convém, antes de mais, salientar que para cada conexão é criado uma instância do protocolo associado, pelo que se duas conexões utilizarem o mesmo tipo de protocolo, as mensagens enviadas pelo *Router* de Mensagens serão processadas por instâncias distintas, como representado na Figura 17, nas conexões C1 e C3 com o Protocolo 2.

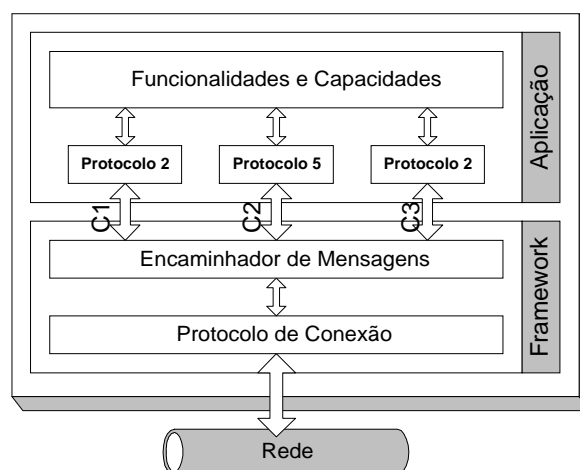


Figura 17 - HFW: Várias instâncias do mesmo tipo de protocolo

O protocolo deve ser entendido como um conjunto de funções que faz o tratamento dos diversos eventos que ocorrem na conexão (e.g. abertura, recepção, emissão, encerramento), pelo que mais uma vez tem a incumbência de encaminhar as mensagens para o procedimento correcto.

O protocolo deve servir para encaminhar as diversas mensagens chegadas à conexão, para as diversas conversações associadas à conexão. O protocolo tem portanto a responsabilidade de classificar as mensagens por conversação e encaminhá-las para o processo conveniente. Há que ter em consideração, no entanto, dois factores importantes:

- **Aplicação**, nomeadamente de conflitos e incoerências, pois poderão existir restrições na manipulação da informação e gestão de recursos. Estas situações ocorrem por exemplo, se em duas conversações simultâneas é requisitado o mesmo recurso para o mesmo intervalo de tempo;
- **Mensagens**. A sua identificação inequívoca é fundamental para o seu encaminhamento para a conversação correcta, e depende dos dois interlocutores.

Porém, no HFW não existe o conceito de conversação, pelo que cabe ao protocolo ser simultaneamente gestor de protocolo e gestor de conversação. Portanto, é no protocolo que todos os eventos são processados bem como a definição de tipos e ordem das mensagens.

Associado a cada conexão existe uma área de memória que não tem tipo ou conteúdo definido e denomina-se *Status* da conexão. Na realidade o que o *framework* disponibiliza à aplicação é um apontador para memória sem qualquer tipo predefinido. O protocolo, em função das suas especificações reserva um espaço de memória do tamanho e tipo que desejar.

Se bem que vantajoso, não é suficientemente evoluído para facilitar o tratamento dos problemas referidos nas conversações, nomeadamente de informação e sincronização. Este tratamento, ao ter de ser realizado ao nível da aplicação, torna-se demasiado moroso.

4.2.5.3 Funcionalidades e Capacidades

Estes elementos são a aplicação propriamente dita, implementada (por norma em C++) de forma estática.

Embora seja teoricamente possível utilizar as funcionalidades do *framework* com outra linguagem, nomeadamente o LPA-Prolog para Windows, nunca foram realizados testes para justificar a sua aplicabilidade e desempenho com outra linguagem que não o MS-Visual C++.

4.2.5.4 Sistema de Informação

O sistema de informação do HFW é muito simples e transfere praticamente toda a gestão de informação para a aplicação. Toda a informação tem de ser gerida ao nível da aplicação exceptuando três tipos de dados:

- **Quem** se anunciou, correspondente ao identificador do holon (conjunto de caracteres);
- **Onde** existe quem se anunciou, correspondente ao endereço IP:Socket em que o holon se encontra no momento;

- **O quê e como** faz, quem se anunciou, o que corresponde a uma descrição da funcionalidade (conjunto de caracteres) e a fiabilidade com que realiza tal funcionalidade (número real).

Para se fazer a manutenção desta informação existem funções específicas disponibilizadas pelo *framework*, quer para requisição quer para publicação. A publicação é sempre realizada pela aplicação, pelo que qualquer informação lá existente é da sua responsabilidade. As requisições sobre esta informação são disponibilizadas aos requerentes automaticamente e sem restrições, pelo que o holon deverá ter muita atenção à informação aí publicada.

Assim sendo, desde logo estão disponíveis alguns mecanismos do serviço de informação, com a particularidade de serem distribuídos. Porém, não é disponibilizado qualquer mecanismo de controlo ou exclusão de redundância, incoerência e ambiguidade na informação, e como a aplicação nunca chega a tomar conhecimento das requisições, não há qualquer controlo sobre a informação.

Todo o resto da informação é gerida internamente sem qualquer apoio do *framework*, pelo que a base de dados ao nível da aplicação é tudo o que se desejar e for possível, com as tecnologias complementares de implementação.

4.2.5.5 Resumo do HFW

Como se comprova pelos pontos anteriores, a infra-estrutura HFW caracteriza-se por simplicidade e flexibilidade. A sua adopção justifica-se essencialmente pelas infra-estruturas de comunicação fornecidas, como é o caso da automatização do processo de conexão e alguns mecanismos de controlo e acompanhamento da comunicação.

Embora os mecanismos de conversação cumpram os requisitos em termos de forma e conteúdo das mensagens, são evidentes algumas lacunas estruturais, como a gestão de *time-outs* e a sincronização. Adicionalmente, as conversações são complicadas de desenvolver, e manter. Será aconselhável futuramente a adopção de modelos de conversações que incluam mecanismos de controlo e acompanhamento e que possam ser reutilizados, agrupados e particularizados a cada situação.

Se analisarmos as capacidades, em termos de sistemas de informação, então constata-se que são poucos os requisitos cumpridos. A informação gerida é demasiadamente simples e incompleta, e nesse sentido não permite a correcta gestão e publicação da informação. Parece incontornável no futuro, a adopção de tecnologias de objectos distribuídos.

Além destas, torna-se necessário desenvolver algumas funcionalidades que de momento terão de ser desempenhadas pelo próprio holon, caso da identificação, autenticação e registo na holarquia. Adicionalmente, ficam por cumprir os requisitos de encaminhamento, *pooling*

4.3 Implementação

Como já foi anteriormente referido, o objectivo deste trabalho, mais do que um protótipo (tem sido a denominação usada), era o desenvolvimento dum caso de teste onde fossem detectados problemas e as potenciais soluções fossem confrontadas. E o caso de teste versou sobre as actividades de escalonamento, como poderia ter sido dirigido a outra qualquer área do sistema de produção, como *Stocks*, Gestão de Capacidades ou Balanceamento das Linhas de Produção.

Desde o início do desenvolvimento foram detectadas necessidades estruturais, colmatadas de alguma forma pelo HFW. Porém, como verificado, o *framework* não responde a todos os requisitos apresentados, pelo que foi necessário complementar os serviços disponibilizados pelo HFW com outros ao nível da aplicação e do sistema ou, quando era possível, desenvolver os serviços no próprio *framework*.

Finalmente, as actividades de escalonamento confrontaram-se com alguns problemas imprevistos, relacionados fundamentalmente com questões de inexistência de algoritmos de escalonamento adaptados a sistemas distribuídos e fundamentalmente a sistemas descentralizados e redundantes.

Assim, as tarefas de implementação do sistema holónico dividiram-se fundamentalmente em duas fases:

- **Serviços.** Esta fase de implementação não teve propriamente um início e um fim, pois as necessidades foram aparecendo à medida que o sistema ia sendo desenvolvido. Refira-se por exemplo o caso dum futuro serviço de Encaminhamento, que só nos últimos estágios de desenvolvimento do sistema foi reconhecido, sendo o seu funcionamento ainda alvo de dúvidas e especificações. Distingue-se dois serviços distintos:
 - ♦ **Serviço de Indentificação**, respeitantes às actividades de Identificação, Autenticação e Registo na holarquia;
 - ♦ **Serviço de Informação**, respeitante à gestão de informação, sua publicação e posterior disponibilização.
- **Escalaonamento**, que considera as actividades respeitantes ao lançamento e escalaonamento das tarefas pelos recursos produtivos dos sistema em intervalos de tempo, considerando datas limites.

Nas secções seguintes descrevem-se as principais questões relacionadas com estas fases, salientando os problemas surgidos e as razões das soluções seguidas.

Como se constatará, o desenvolvimento efectuado tem uma forte componente de interligação e conversação entre as várias entidades do sistema. Porém, desde o início do projecto que se verificou uma lacuna no que respeita a formalismos gráficos de representação de protocolos e conversações. Por isso, sempre que houver necessidade de descrever graficamente determinado protocolo ou conversação, adoptar-se-á a representação que se julgue mais perceptível e adequada à situação.

4.3.1 Serviço de Identificação

Desde cedo se compreendeu a necessidade de existência dum serviço de Identificação e Autenticação automáticos, de forma a tornar o sistema mais liberal e dinâmico.

A holarquia é um sistema dinâmico, na medida em que os seus componentes aderem e se retiram do sistema dinamicamente. Ao ser desenvolvido, o HFW sugeria que os elementos da holarquia tivessem certas características estáticas entre as quais o endereço. Como se constatou das descrições do conceito holónico, essa não é uma aproximação correcta. Muito pelo contrário, o holon deve ser dinâmico e em caso algum ser limitado nesse tipo de elementos. Adicionalmente não existia qualquer tipo de identificação e autenticação de holons, pelo que o sistema era muito vulnerável em termos de segurança.

Por exemplo, determinado holon tinha um endereço fixo, onde toda a comunidade o procurava e estaria acessível.

No entanto, se por algum motivo (e são vários) não fosse possível a ligação do holon ao tal endereço (Figura 18), o holon era dado como inexistente por toda a comunidade. É verdade que o holon poderia tentar informar a comunidade do seu novo endereço, mas qual é coerência de se alterar algo que foi definido estaticamente. Além do mais, este comportamento não era de todo viável se considerarmos, no limite, que pode acontecer o mesmo a toda a comunidade, e nesse caso nenhum se poderia informar com os outros pois todos estão em endereços diferentes. Além do mais há que considerar a hipótese de alguns holons se fazerem passar por outros. Na Figura 18 por exemplo, a Aplicação ZZ poderia chamar-se (ou alterar o seu nome para) Holon BB, fazer-se passar por ele, aceder a toda a informação respeitante ao verdadeiro BB e perturbar o sistema com comportamentos conflituosos.

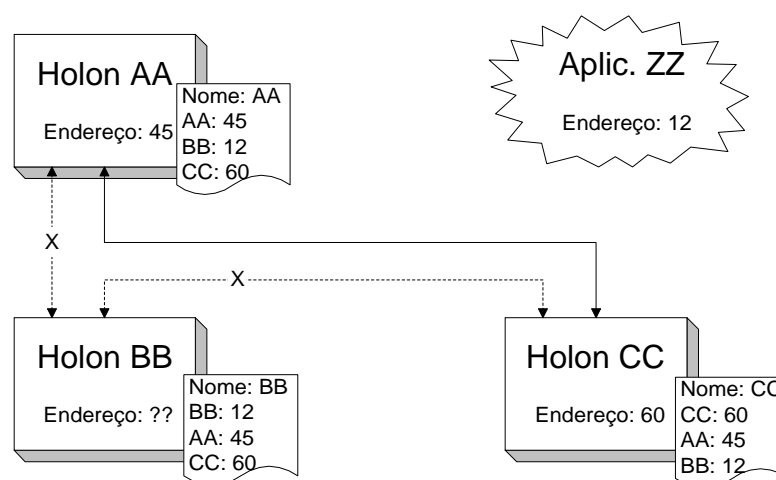


Figura 18 – Utilização de endereços estáticos

Concluindo, o holon não deve ser minimamente condicionado por características ou definições estáticas como o endereço ou informação circunstancial. Toda essa informação deverá evoluir em função de adaptações dinâmicas, conversações e agrupamentos. Complementarmente, o sistema deve garantir os serviços mínimos de segurança.

É necessário portanto, um serviço global que garanta as questões agora referidas. Esse serviço denomina-se Serviço de Identificação, Autenticação e Registo, ou abreviadamente Serviço de Identificação.

Entende-se por serviço de identificação, o conjunto de elementos que fornece ao sistema as seguintes funcionalidades:

- **Identificação**, correspondente à indicação da existência e forma de contacto do holon à holarquia;
- **Autenticação**, correspondente à apresentação de garantias de validade e de objectivos compatíveis com a holarquia por parte do holon;
- **Registo**, correspondente à aderência oficial do holon à holarquia.

Estas três funcionalidades fazem sentido quando aplicadas em conjunto e pela ordem apresentada, pelo que não é aceitável por exemplo, registar o holon sem que o serviço o tenha identificado e autenticado previamente.

4.3.1.1 Abordagem

Com o objectivo de solucionar este problema, a primeira abordagem centrou-se no desenvolvimento duma entidade que seria responsável por armazenar todos os endereços de todos holon do sistema. Todos os holon quando arrancassem, deveriam publicar o seu nome e endereço nessa entidade, e qualquer outro tipo de informação, como características ou funcionalidades.

Esta entidade, denominada HNS²⁸, teria um endereço estático, que todos os holons conheceriam, e que automaticamente contactavam no sentido de se identificarem e registarem na comunidade. Sempre que algum holon necessitava de comunicar com qualquer outro requisitava o endereço deste HNS.

No entanto este sistema tem vários inconvenientes:

- **Estatismo**. O endereço estático do HNS conduz aos mesmos problemas que os referidos anteriormente para os holons normais;
- **Desactualização da BD**²⁹. Os holon que publicam os endereços podem não os remover quando se retiram da comunidade. Existem várias razões, mas de todas a mais forte é a ocorrência de erros fatais no holon, não permitindo informar o HNS. Na Figura 19, a BD do HNS está desactualizada porque o holon AA não removeu o seu endereço quando se retirou, porém o seu endereço é fornecido a BB;
- **Fiabilidade**. Se o HNS não funcionar, todo o sistema não funcionará, pois os holons deixaram de ter informação estática sobre endereços;
- **Segurança**. A autenticidade dos holon e HNS tem de ser verificada, sob pena de se operar um sistema cuja objectividade e coerência não são minimamente asseguradas.

²⁸ HNS - *Holonic Name Service*, ou em português: Serviço de Nomes Holónicos.

²⁹ BD – Base de Dados.

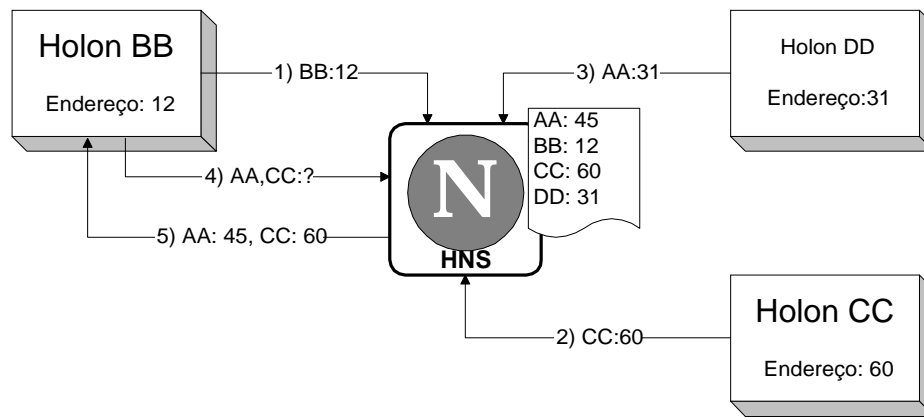


Figura 19 - Funcionamento básico do serviço de informações

Através destas três considerações constata-se quatro problemas: estatismo, fiabilidade e incoerência e segurança.

A solução proposta passa pela resposta individual a cada um dos problemas.

- **Estatismo → Dinamismo.** Se estatismo é problema, a solução é implementar dinamismo;
- **Incoerência → Regras e Mecanismos.** A coerência é um problema que surge através dos comportamentos das entidades do sistema. Isto é, o sistema é corente, mas torna-se incoerente em determinadas circunstâncias e mediante determinadas actuações das entidades que o constituem. Assim, a solução passa pela definição de regras e adopção de mecanismos de controlo complementares às regras;
- **Pouca fiabilidade → Descentralização.** Aquando de falta de fiabilidade em sistemas distribuídos a descentralização é sempre uma das hipóteses equacionadas;
- **Segurança → Autenticação.** A autenticação através de palavras chave é dos métodos de autenticação o mais usado, o mais simples, o mais eficiente e simultaneamente o mais permissível.

As soluções podem parecer demasiadamente óbvias, mas se for possível aplicá-las em conjunto teremos a solução pretendida. Descreve-se de seguida o processo de aplicação das quatro medidas no sistema.

4.3.1.2 Dinamismo

Na abordagem intermédia apresentada, o elemento estático era o endereço do holon HNS. Consequentemente, os restantes holons sabem onde procurar e apenas procuram no endereço especificado estaticamente.

A primeira alteração passa então pela definição dinâmica do endereço do HNS. Mas como é que os outros holons o encontram se não sabem onde procurar?

A solução passa pelo uso da transmissão de mensagens em *Broadcast*, pois as mensagens deste tipo são transmitidas para todos os elementos existentes na rede, basta que tenham uma conexão aberta³⁰.

Assim, o holon quando deseja pertencer à holarquia apenas tem que transmitir uma mensagem com a indicação de que pretende identificar-se perante a comunidade. Isso corresponde ao envio duma mensagem com a seguinte informação:

- **Identificador da Mensagem:** ID_HNS_REQ;
- **Nome do requisitante**, que servirá para verificação da identificação na comunidade;
- **Endereço do Requisitante**, que servirá para futuras conexões entre o requisitante e o HNS.

Quando a mensagem é recebida, apenas o HNS é capaz de lhe responder, e verifica se o identificador do holon existe na sua tabela de Autenticação (Tabela 3).

Identificador	Palavra-chave
Holon AA	HGTA76Q1P
Holon BB	AF45DFD56
Holon CC	FG7UBH12S
Holon DD	FCZCX7H97

Tabela 3 - Tabela de Autenticação

Duas situações podem ocorrer:

- Caso não exista na tabela, o pedido é rejeitado e o holon é informado através da mensagem:
 - ♦ **Identificador da mensagem:** ID_HNS_ID_REF;
- Se existir, cria uma conexão com o holon requisitante, associando à conexão a conversação específica de conexão com o HNS, conversa o HNS, através da qual envia uma mensagem de pedido de autentica o:
 - ♦ **Identificador da mensagem:** ID_HNS_PASSWD_REQ;
 - ♦ **Versão da conversa o HNS.** Este número permite ao holon saber se a versão da sua conversa o HNS   compatível com a do HNS, e em certos casos compatibilizar a conversa o.

O holon, ao receber tal mensagem envia para o HNS uma mensagem com a Palavra chave:

- **Identificador da mensagem:** ID_HNS_PASSWD_ACK;
- **Palavra chave** (conjunto de caracteres);

³⁰ O *framework* encarrega-se de abrir, logo no arranque, uma conexão especialmente criada para a recep o de mensagens *broadcast*, mesmo que não exista mais nenhuma conexão aberta. Embora não garantidamente, cada conexão aberta recebe as mensagens transmitidas em *broadcast*.

Seguidamente, o HNS confrontará a Palavra chave da mensagem com a existente na tabela associada ao nome do holon. Se a autenticação for bem sucedida, o holon é informado da decisão através duma mensagem com um dos identificadores:

- ID_HNS_AUTH_ACC, no caso de aceitação de Autenticação;
- ID_HNS_AUTH_REF, no caso de recusa de Autenticação

Complementarmente, o HNS procede ao registo do holon na holarquia.

A Figura 20 representa o algoritmo que descreve sob o ponto de vista do HNS, estando também representado o papel do holon requisitante.

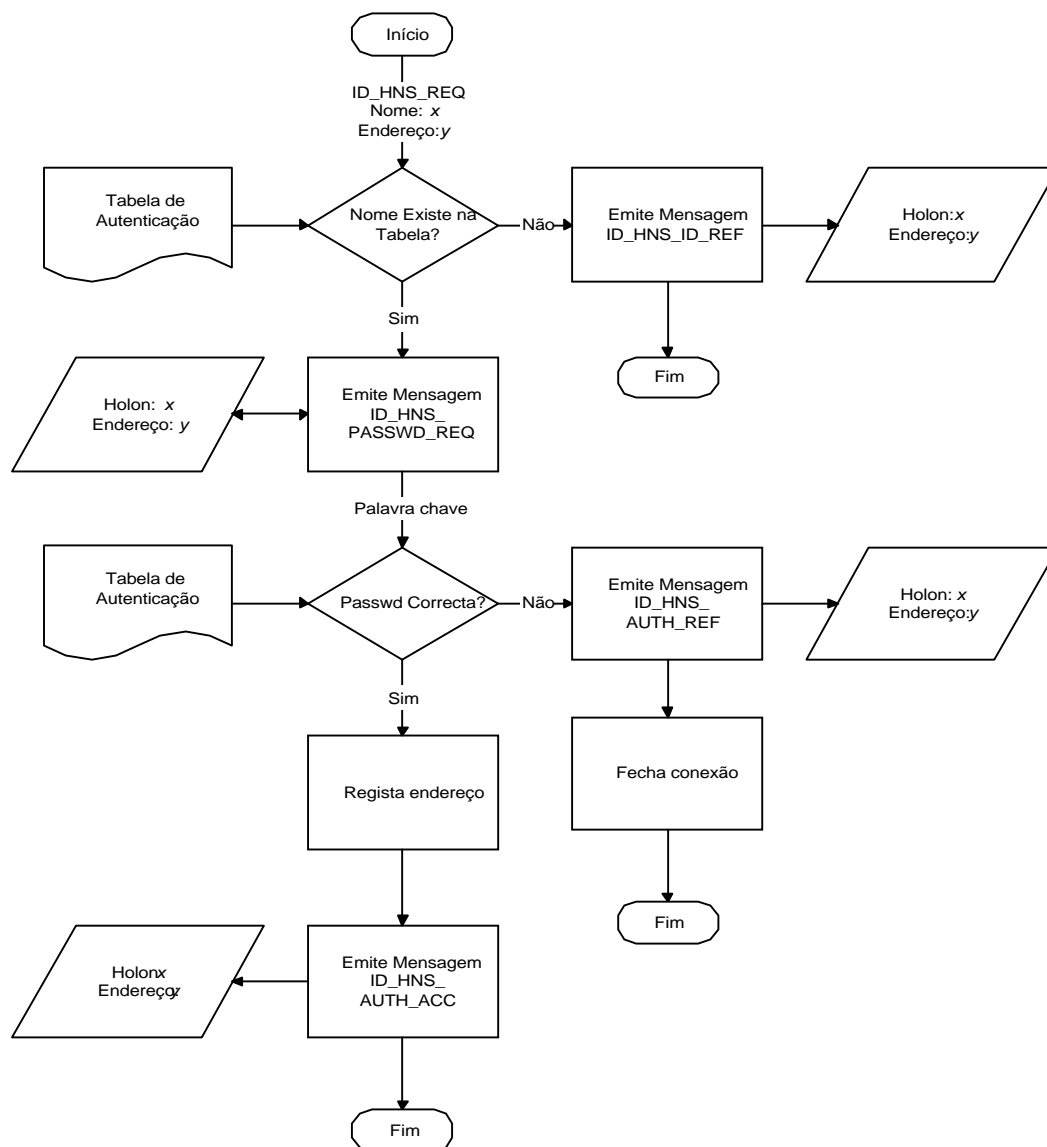


Figura 20 – Algoritmo de conexão da conversação HNS no holon HNS

A Figura 21 representa as conversações dum holon com o HNS com vista ao seu registo na holarquia, segundo a conversação apresentada. O registo do holon DD é bem sucedido, ao

passo que o holon ZZ vê recusada a sua identificação, porque o seu Identificador não existe na tabela do HNS.

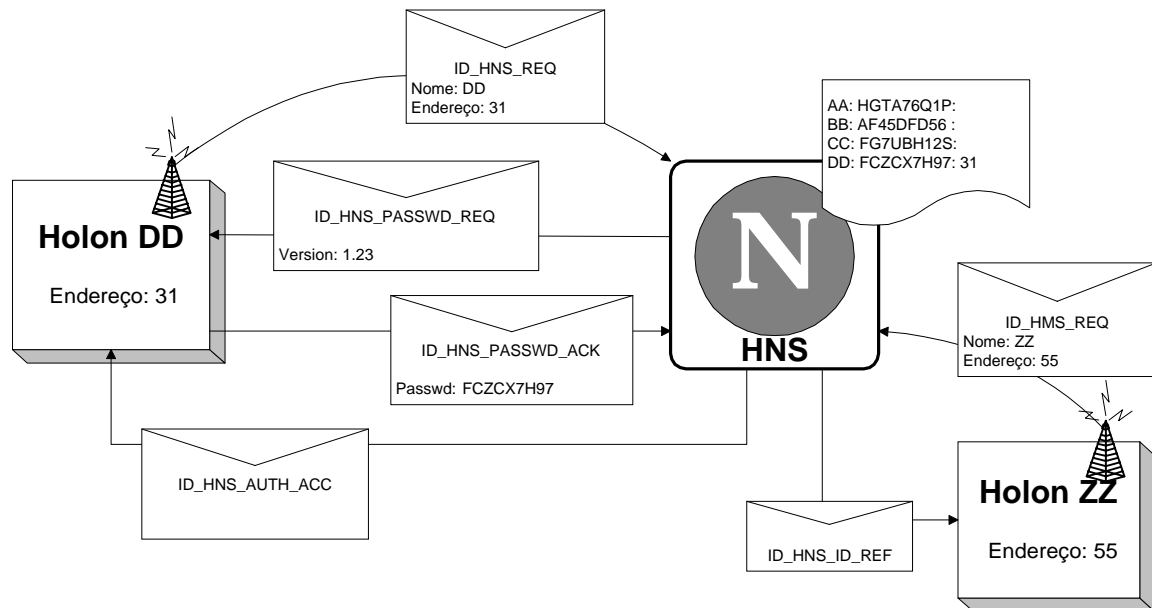


Figura 21 – Exemplo de conversações para registo com endereços dinâmicos

Mantêm-se no entanto os outros problemas. Ou seja, a coerência da informação não é garantida, pois os holon podem abandonar a holarquia sem informarem o HNS, além de que o sistema continua a depender em demasia duma única entidade.

4.3.1.3 Coerência

Como se referiu anteriormente, a Incoerência é uma deficiência do sistema desenvolvida através da actuação das entidades do sistema, o que pode significar duas situações:

- As regras de coerência não são bem aplicadas;
- Os pressupostos previstos pelas regras não se verificam.

Ou seja, o sistema pode definir regras de actuação das entidades que garantam a coerência do sistema, no entanto, para além do facto de poderem não ser bem aplicadas, podem ainda ser insuficientes para as situações que ocorrem no sistema.

Por exemplo, no sistema descrito na Figura 19, existiam regras de actuação que determinam que o holon quando abandona a holarquia deve informar o HNS de forma a que actualize a sua tabela de endereços. No entanto, as regras não são suficientes, pois em determinadas circunstâncias o holon não tem capacidades de informar o HNS, por exemplo quando ocorrem erros na sua ligação à rede.

O método sugerido não tenciona ser infalível, pois existe sempre hipótese do holon abandonar a holarquia sem que tal seja registado. O objectivo é sugerir um método de actuação que diminua a um mínimo razoável as situações em que ocorre este género de incoerências.

A abordagem proposta complementa a proposta resultante do ponto anterior (4.3.1.2), e sugere a definição de regras de coerência complementadas com mecanismos de controlo.

As regras propostas são as seguintes:

- O holon é responsável pelo registo e desregisto na holarquia;
- O holon deve apenas registar-se no HNS;
- Apenas o holon HNS tem competência para registar;
- Apenas no HNS existe informação de registo válida.

Embora estas regras sejam necessárias, não garantem contudo a coerência das tabelas de registo com a holarquia real. Pois não há garantias de que o holon cumpra o desregisto na holarquia.

Devido ao tipo de funcionamento das conexões por *sockets*, sempre que determinado holon tem um problema ou simplesmente abandona a holarquia, a conexão é encerrada. Esta característica fornece os princípios fundamentais de funcionamento dos mecanismos de controlo que se irão adoptar.

Mantendo-se a conexão aberta durante a permanência do holon na holarquia, assim que a conexão encerra seja porque motivo for e sem que o holon avise, o HNS inicia automaticamente o processo de desregisto da holarquia (Figura 22).

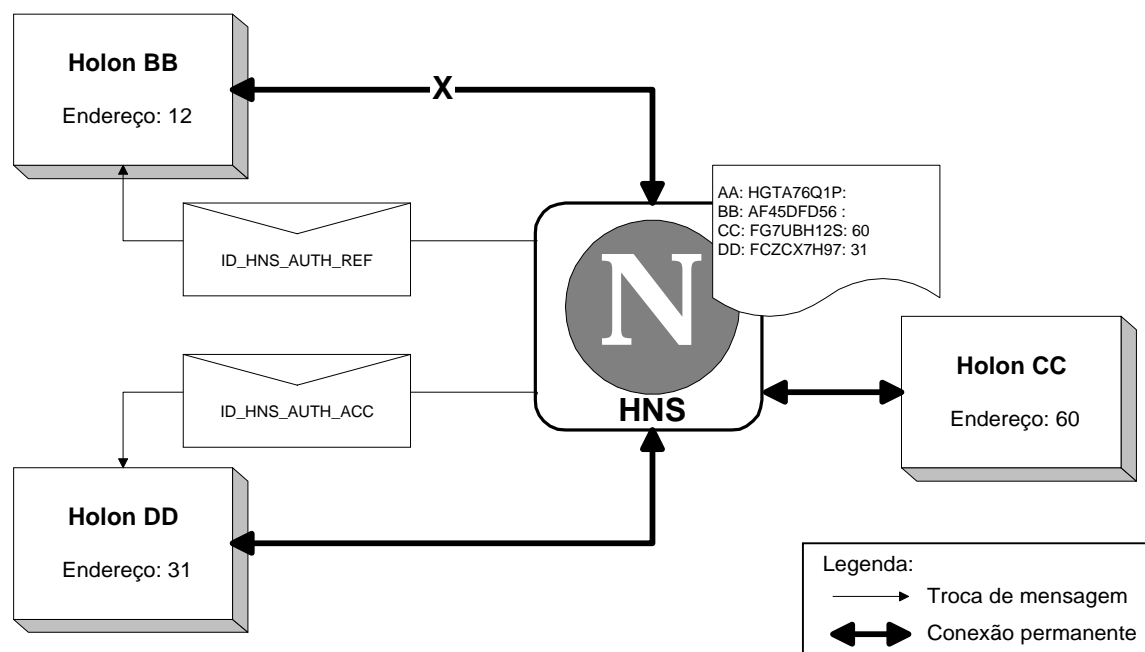


Figura 22 - Proposta da conversação HNS com conexão premanente

4.3.1.4 Descentralização

Apesar do sistema já permitir dinamismo de endereços e manutenção da coerência, o sistema continua muito dependente duma única entidade, o HNS. Se o holon HNS falha por algum

motivo, e não executa as suas actividades, o sistema torna-se praticamente inoperante pois deixará de haver informação acerca de qualquer endereço na holarquia o que é fundamental para o funcionamento

Como em qualquer sistema distribuído que sofra de fiabilidade, uma hipótese sempre considerada é a descentralização de competências. Descentralização pressupõe repetição e redundância de competências. É isso que se pretende, repetir HNS de forma que se complementem em situações de funcionamento normal, mas que sejam capazes de se substituir mutuamente em caso de situações de excepção.

Nesse sentido deve ser adoptada uma filosofia de descentralização cooperativa.

- Descentralização porque as funções de identificação, autenticação e registo passam a ser da competência de vários HNS. Em condições controladas, esta característica permite a substituição ou complementarização das funções das várias entidades;
- Cooperação porque é necessário que os vários HNS se organizem mutuamente de forma a não ocorrem conflitos de interesses. A forma de coordenação prevista é a cooperação, que corresponde à realização conjunta de tarefas orientadas para um objectivo global, neste caso o serviço de identificação. Assim, os holons terão a capacidade de se complementarem e substituírem mutuamente.

Recapitulando, pretende-se desenvolver um serviço de identificação capaz de resistir às falhas das entidades competentes, adoptando os princípios da descentralização e cooperação. Adicionalmente, o sistema deverá manter as características de dinamismo e coerência desenvolvidas nos pontos anteriores.

A solução propõe as seguintes regras de funcionamento:

- Existência dum número indefinido de HNS que se interligarão permanentemente. Ao arrancar, o HNS deverá emitir pedidos de conexões com outros HNS.
- Todos os HNS se interligarão com todos;
- Cada holon procederá ao registo pelo processo já definido anteriormente;
- Apenas um HNS aceitará o registo e a posterior conexão;
- Durante o processo de identificação, o HNS deverá certificar-se que o holon não está registado em nenhum outro. Como haverá vários HNS a tentarem simultaneamente o registo, deverá ser aplicado um método que gira o conflito, de forma a que apenas um execute o registo;
- No caso do identificador não existir na sua tabela de Autenticação, o HNS deverá verificar a sua existência na tabela dos outros HNS e actualizar a sua;
- O HNS que actualizar a sua tabela de Autenticação deverá comunicar a todos os outros HNS as alterações efectuadas.

Assim, além da conversação HNS que interliga os holons ao HNS, é necessário que os HNS se interliguem entre si. Para isso, definiu-se uma nova conversação, o HNSPRIV (HNS Privado).

Existem agora duas conversações associadas ao serviço de identificação:

- **HNS**, usada na interligação de holon normais e HNS;
- **HNSPRIV**, usada na interligação de holons HNS.

4.3.1.4.1 Conversação HNSPRIV

Com as regras apresentadas, grande parte do funcionamento desta conversação está automaticamente definido, mas existem algumas diferenças em relação ao HNS apresentado em 4.3.1.2.

No caso do identificador do HNS requisitante não existir na sua tabela, o requisitado emite um pedido de validação aos outros HNS. Caso exista nalgum dos outros, o HNS procederá à actualização da tabela de Autenticação.

A Figura 23 representa o algoritmo de conexão da conversação HNSPRIV, sob o ponto de vista do HNS requisitado.

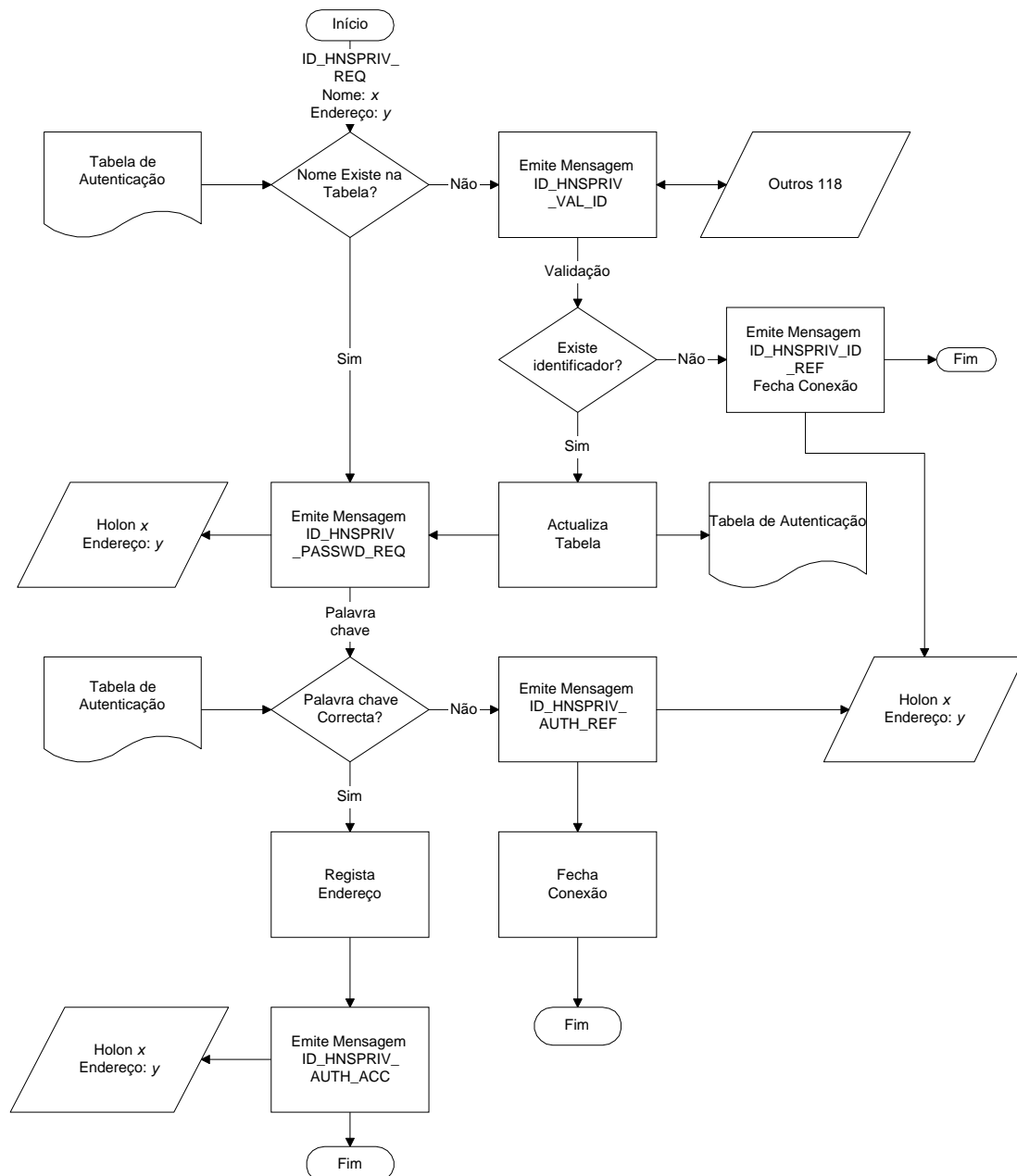


Figura 23 – Algoritmo de registo no HNS requisitado

Na figura seguinte apresenta-se um exemplo das trocas de mensagens na conversação HNSPRIV, do qual se descreve os pontos mais importantes:

- O holon KK-HNS deseja registar-se numa comunidade onde já existem dois outros HNS. Emite então uma mensagem (ID_HNSPRIV_HNS_REQ) em *broadcast*, de requisição de conexão a holons HNS.
- Acontece que o holon FF-HNS não tem informação do identificador KK-HNS, pelo que confirma junto do seus semelhantes a validade do identificador (mensagem ID_HNSPRIV_VAL_REQ).
- Efectivamente, no holon JJ-HNS existe o tal identificador, que é transmitido para o FF-HNS através da mensagem ID_HNSPRIV_VAL_ACK. No caso do identificador não

existir na tabela do HNS, a mensagem enviada seria ID_HNSPRIV_VAL_REF. O holon FF-HNS actualiza a sua tabela de Autenticação dos HNS.

As mensagens restantes são idênticas àquelas já descritas em 4.3.1.2 e apresentados na Figura 21.

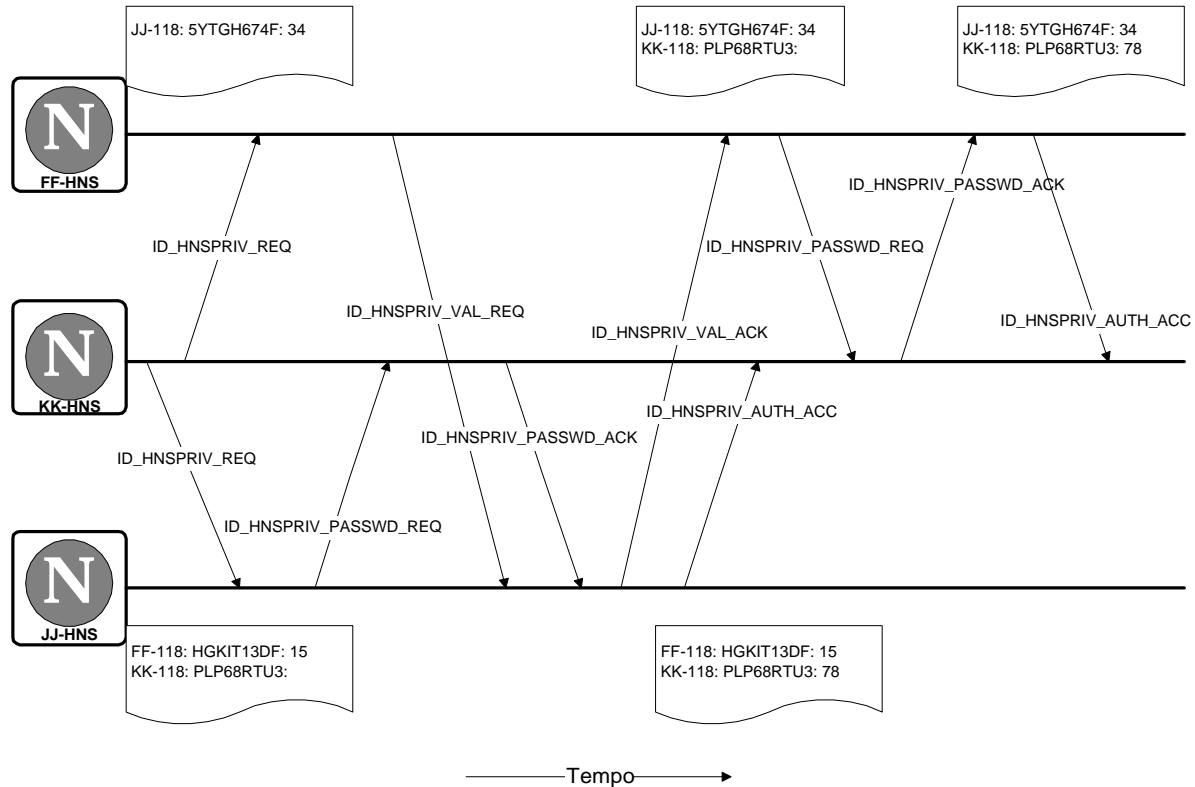


Figura 24 – Exemplo de conversações na conversação HNSPRIV

4.3.1.4.2 Conversação HNS

A conversação HNS sofre também algumas alterações, não na parte que diz respeito ao holon requisitante, mas no que se refere ao HNS. Cada holon apenas pode ter uma conexão com um HNS de modo a garantir a coerência da informação de registo. Assim, sempre que um holon deseje aderir à comunidade enviará a mensagem de requisição de HNS, tal como apresentado em 4.3.1.2. No entanto, os HNS que receberem a mensagem, antes de qualquer interacção com o holon, verificam junto dos seus semelhantes se o holon já está registado. Se já estiver registado é enviada uma mensagem com esse significado ao holon (ID_HNS_ID_DUP), caso contrário o processo de autenticação e registo continua como definido anteriormente. Tal como na conversação HNSPRIV, também neste pode acontecer que o identificador não exista na tabela do HNS, pelo que este deve confirmar junto dos outros a sua existência.

A Figura 25, apresenta o algoritmo de conexão na conversação HNS, sob o ponto de vista do holon HNS.

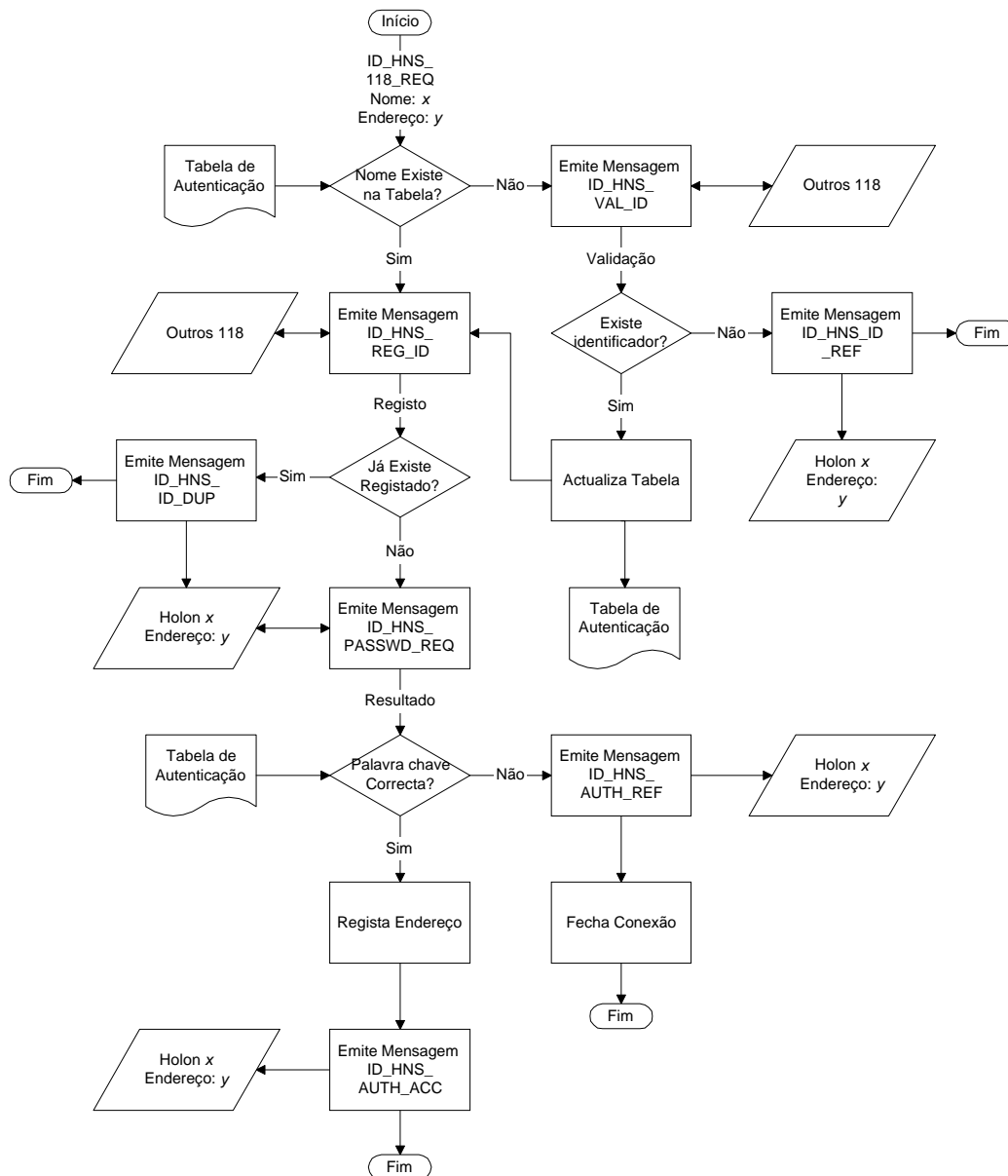


Figura 25 – Algoritmo de conexão da conversação HNS no HNS requisitado

4.3.1.4.3 Re-Identificação e Re-Registo

Como é evidente, a existência de vários destes HNS em pouco ajuda à fiabilidade do sistema, pois nada garante que algum ou todos não tenham problemas e não cumpram o serviço. Quando muito ter-se-ia uma situação menos desfavorável pois as probabilidades de ocorrência de avarias seriam menores. Contudo, não é de todo satisfatória esta situação.

A solução proposta, passa pela exploração do mecanismo descrito em 4.3.1.3, respeitante à forma como o HNS utiliza a conexão permanente com o holon para gerir a informação de registo. Ou seja, se o HNS utiliza a conexão para se aperceber do abandono do holon, também o holon se pode aperceber e utilizar o mecanismo para gerir a sua própria ligação ao

HNS. Como tal, ao aperceber-se disso o holon pode reiniciar o processo de identificação e registo na holarquia, através dos restantes HNS.

Este processo de re-identificação e re-registo apenas acontece na conversação HNS. Isto acontece porque não faz sentido que o holon HNS tendo potencialmente várias conexões com outros holons HNS, só porque um deles abandonou a holarquia, retente ligar novamente. O holon HNS é um holon cooperativo mas autónomo e auto-suficiente e nesse sentido definiu-se que apenas no arranque ele se deve tentar registar na holarquia e noutros HNS.

4.3.1.4.4 Gestão de conflitos

Nesta secção analisa-se o problema de gestão de conflitos resultante do facto dos pedidos de registo do holon serem realizados em *broadcast*. Ou seja, vários HNS recebem pedidos de identificação e registo mas apenas um deles deve responder, pois cada holon deve ter apenas uma conexão e um registo a HNS.

A primeira questão a resolver é: deve o holon ser contactado por todos os HNS que não desejam realizar o registo ou essa questão deve ser ignorada e apenas o HNS responsável pelo registo deve contactá-lo. Note-se que o pedido é feito em *broadcast*, ou seja não direccionado e não garantido, o que implica que o pedido tanto pode ser recebido por todos como por nenhum. Assim, o holon não sabe quantos ou quem foi contactado pelo que a informação de rejeição dos HNS de nada serve ao holon.

Nestes termos, a utilidade da informação de rejeição é nula, pelo que apenas o holon responsável pelo registo deve contactar o holon. Porém, cada HNS deve ter conhecimento de que algum outro processa o pedido.

É necessário encontrar uma forma de escolher o HNS responsável pelo registo, mas informando todos os outros, e preferencialmente que todos participem na escolha.

A questão de escolha dinâmica baseada em negociação é uma área dos sistemas distribuídos para a qual não se encontrou ainda uma solução inequívoca. Tratando-se do desenvolvimento dum sistema de teste, e sendo esta questão algo marginal, o problema não foi alvo de grande estudo e análise, antes se optou pelo desenvolvimento dum método muito simples em que todos os HNS participam.

O HNS escolhido é aquele cujo identificador estiver mais próximo alfabeticamente do identificador do holon requisitante. Esta regra define uma lista virtual de prioridades na escolha do HNS.

Como foi referido, todos os HNS estão interligados entre si, pelo que todos conhecem todos. O processo inicia-se com o HNS escolhido a informar todos os outros de que vai iniciar o processo de registo. Fá-lo através da mensagem:

- **Identificador da mensagem:** ID_HNSPRIV_REG_INF;
- **Identificador do holon requisitante.** No caso de existirem dois processos de registo a decorrer em simultâneo este identificador soluciona a possível ambiguidade.

Os restantes devem responder com a mensagem ID_HNSPRIV_REG_ACK;

- **Identificador do holon requisitante.**

No caso do holon escolhido não poder executar o pedido, deve informar o próximo HNS da lista, para que ele realize o registo. Para isso envia a mensagem ID_HNSPRIV_REG_REF;

- **Identificador do holon requisitante.**

Se o HNS escolhido não informar os seus semelhantes, então, o próximo HNS da lista passa a ser o escolhido e fará o mesmo processo.

Como é evidente o procedimento agora descrito é muito simples e praticamente não trata situações de excepção.

4.3.1.5 Segurança

Embora o sistema implementado seja apenas um caso de testes, a segurança foi tida em consideração, desde logo pela necessidade de autenticação dos holons perante o serviço HNS. No entanto as questões de segurança não ficam resolvidas apenas com estes mecanismos. Há duas questões de segurança que devem ser mencionadas:

- Palavras chave. Gestão das palavras chave: quem atribuiu a quem e quem as introduz nos holons;
- Autenticação do HNS. Segundo as conversações HNS e HNSPRIV, parte-se do princípio que os HNS são seguros, o que nem sempre é verdade. Repare-se que não havendo qualquer tipo de validação do HNS, qualquer holon que implemente as conversações se faz passar por um HNS e tem por conseguinte acesso às palavras chave dos holons, que pode usar para fins ilícitos (Figura 26).

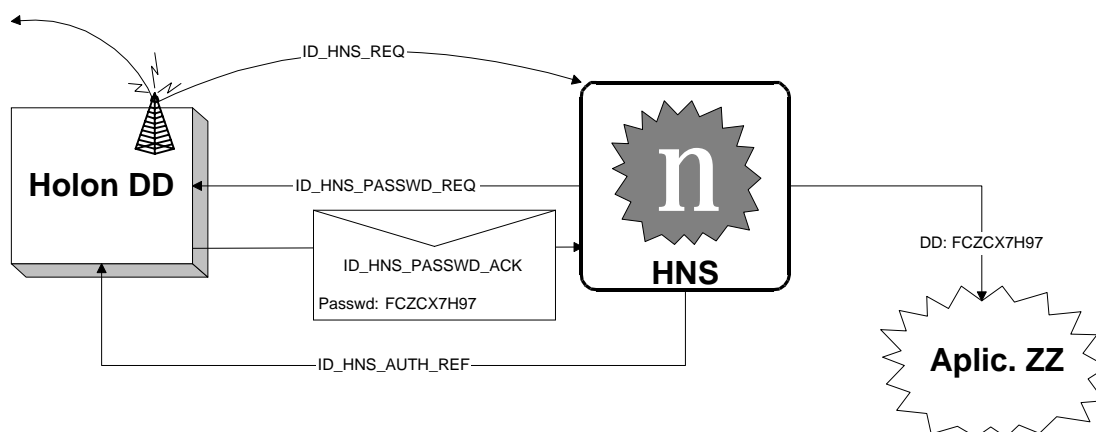


Figura 26 – Exemplo de HNS inválido: uso ilícito de palavras chave

4.3.1.5.1 Palavras chave

A gestão de palavras chaves carece de regras de funcionamento claras e comuns à holarquia. Nesse sentido definiu-se o conceito de domínio e definiram-se diversas regras de gestão e organização das palavras chave associadas a domínios.

Duma forma muito sucinta, a noção de domínio equivale à noção de holarquia, no entanto entende-se Domínio como um agrupamento dinâmico de holons que têm em comum determinadas características, sendo uma delas o serviço de identificação.

Definiram-se as seguintes regras de funcionamento:

- Determinado holon pode pertencer a vários domínios;
- Determinado HNS apenas pode pertencer a um domínio, pelo que apenas se interligará com HNS do mesmo domínio;
- A interligação de domínios faz-se através de entidades que pertencem aos vários domínios. No entanto esta entidade não realiza tarefas de encaminhamento. A Figura 27 representa esquematicamente esta noção;

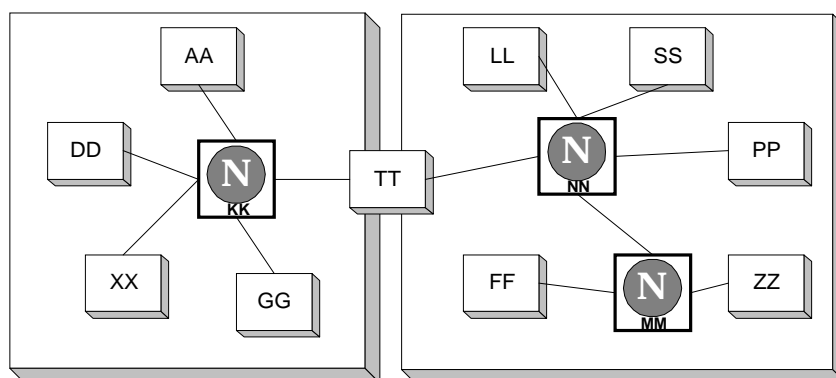


Figura 27 - Representação esquemática de domínio

- Em cada domínio deverá existir uma entidade responsável pela gestão de palavras chave, o Gestor. Este, não deve ter competências para definir quem deve e quem não deve aderir a determinado sistema de identificação. O gestor apenas deve ser responsável por validar as competências e funcionalidades do holon no sentido de garantir que este cumpre os requisitos de cooperação e objectividade associados ao domínio. Esta entidade não é modelizada no sistema proposto;
- Cada holon tem uma tabela onde relaciona as diversas palavras chave com os domínios a que dão acesso e adicionalmente uma chave pública associada ao domínio. A utilidade desta chave pública será analisada em 4.3.1.5.2;

Identificador de Domínio	Palavra chave	Chave Pública
Default	HJT56RGH7	HJS&%89JK
D-456	JKJSDJJS9	BNGSS\$%23SA

Tabela 4 – Tabela de Domínios do holon

- Cada HNS tem uma tabela, onde relaciona os identificadores dos holons com acesso a esse domínio, com as palavras chaves de acesso.

No próximo ponto serão descritas as funcionalidades e razões destas regras.

4.3.1.5.2 Autenticação Recíproca

Verificou-se que os HNS necessitam de autenticar o holon que estão a registar, e nesse sentido incluíram-se nas conversações HNS e HNSPRIV, mensagens de autenticação recíproca. Os holons devem ter a confirmação de que estão a contactar e registar-se num HNS válido. Esta necessidade tanto existe no holon normal como nos HNS que tentam contactar outros HNS. Constata-se portanto a necessidade dum mecanismo que permita aos requisitantes validar os requisitados.

Nesse sentido, é necessário alterar a fase de autenticação para que não só o holon se autentique perante o HNS como também o HNS o faça perante o holon.

A abordagem mais evidente é a validação das palavras chave do HNS por parte do holon, tal como acontece com o HNS para as palavras chave do holon. Porém, coloca-se o problema da proliferação de palavras chave do(s) HNS por todos os holons da holarquia, e como o HNS é o tipo de holon de maior importância na manutenção da segurança, esta não é com certeza a abordagem correcta.

A abordagem sugerida passa pela definição de chaves públicas e privadas de codificação das próprias palavras chave sendo a chave pública, como o nome indica, acessível a todos os holons. O procedimento de autenticação recíproca consta do seguinte:

- Na fase de autenticação o holon deve codificar a sua palavra chave usando essa chave pública, enviando-a codificada ao HNS.
- O HNS ao receber a palavra chave, utilizando a chave privada descodifica-a e compara-a com a existente nas tabelas de Autenticação. Assim, podem ocorrer duas situações:
 - ◆ A palavra chave não coincide, o holon enviará a mesma mensagem de recusa de registo.
 - ◆ No caso de coincidir, para que o holon valide o HNS, este reenviará a palavra chave para o holon, mas desta vez descodificada. Sabendo que apenas através da chave privada é possível descodificar a palavra chave, e que apenas os HNS válidos tem essa chave, o holon sabe que no caso da palavra chave recebida do HNS ser igual à sua própria, então o HNS é válido, caso contrário é inválido.

A Figura 28³¹ apresenta o esquema da solução final respeitante ao processo de registo dum holon no HNS. Para isso usa-se o formalismo de autómatos finitos para representar as entidades e as mensagens. Os círculos representam as entidades e os arcos a transmissão de

³¹ A abordagem agora apresentada invalida as figuras apresentadas anteriormente referentes ao algoritmo HNSPRIV e HNS. No entanto, porque são pequenas alterações não se apresenta de novo o algoritmo.

mensagens. Um círculo duplo corresponde à entidade que dispara o primeiro evento, e o círculo com linha grossa corresponde à entidade que recebe o último evento.

As etiquetas dos arcos representam o identificador da mensagem transmitida. A cada identificador é necessário acrescentar-lhe o prefixo correspondente à conversação a que se refere. Entre cada par de entidades está pressuposto uma determinada conversação:

- Holons ↔ HNS, a conversação HNS, a que corresponde o prefixo ID_HNS_;
- HNS ↔ HNS, a conversação HNSPRIV, a que corresponde o prefixo ID_HNSPRIV_.

Por exemplo na primeira mensagem do autómato, porque é transmitida entre um holon normal e um HNS, o resultado é ID_HNS_REQ.

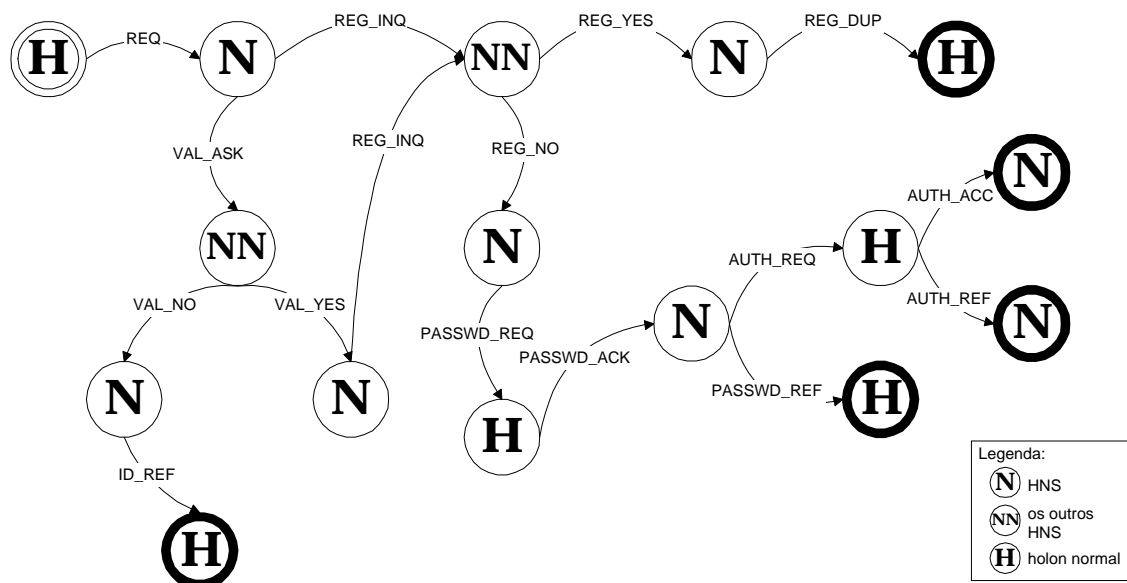


Figura 28 – Sequência de mensagens no registo dum holon em HNS

Refira-se que nas trocas de mensagens entre vários HNS (NN) e o HNS (N), são transmitidas várias mensagens, pelo que o processo do HNS só prossegue quando receber as mensagens de todos os outros HNS. Basta que uma das respostas termine em _YES (resposta positiva) para que o arco _YES seja o escolhido.

Na Figura 29, utilizando o mesmo formalismo, representa-se a sequência de mensagens ocorrida aquando do registo dum holon pretendente a HNS num outro HNS. Representa-se o pretendente a HNS através da letra “n” e por “N” o HNS encarregue do registo, enquanto “NN” representa todos os outros HNS.

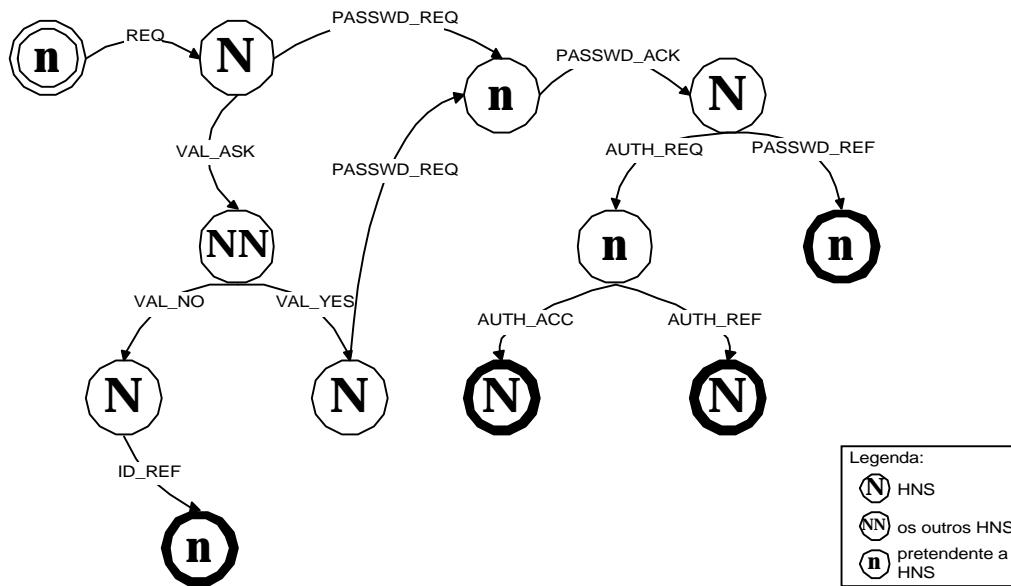


Figura 29 – Sequência de mensagens no registo dum HNS em HNS

As etiquetas dos arcos correspondem às mensagens transmitidas. Como se trata de holons HNS, todas as mensagens representadas pertencem à conversação HNSPRIV, pelo que deve ser acrescentado a cada mensagem o prefixo ID_HNSPRIV.

4.3.1.5.3 Autenticação Secundária

Entende-se por autenticação secundária o procedimento de validação que o holon requisita ao HNS sobre holons que tentam ligar-se com ele próprio. Ou seja, determinado holon recebe um pedido de conexão dum outro holon, mas como não tem conhecimento das intenções e objectivos do requisitante, procede à sua autenticação perante os serviços de identificação a que pertence.

O processo é muito simples. Trata-se de enviar uma mensagem de pedido de autenticação aos HNS onde está conectado, que se encarregará de pesquisar junto dos outros HNS a sua validade. Se algum deles autenticar o holon requisitante, então o holon pode completar a conexão, se não, deve recusar. A Figura 30 representa este processo.

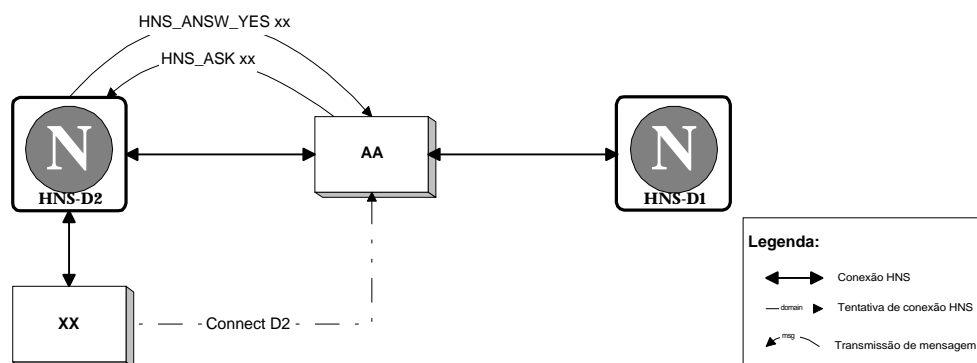


Figura 30 – Exemplo de conversação de autenticação secundária

Por uma questão de simplificação de procedimentos, o holon requisitante deverá indicar sempre o domínio em que está requisitado e que deseja efectuar a conexão. Esta exigência prende-se com o facto de ambos poderem pertencer a vários domínios simultaneamente coincidentes, pelo que poderia criar daí em diante problemas de coerência. Nestes termos não restam dúvidas sobre qual o domínio a que respeita a conexão, e todo o processo a partir do momento da aceitação da conexão será realizado nesse âmbito.

Esta questão terá interesse fundamental na questão do sistema de informação.

4.3.1.6 Resumo sobre o Serviço de Identificação

Apresentou-se nesta secção o serviço de identificação desenvolvido. Para além de se ter descrito o seu funcionamento, deu-se especial atenção à explicação das opções tomadas.

O sistema de identificação desenvolvido caracteriza-se por descentralização, dinamismo e cooperação, o que garante desde logo coerência e fiabilidade. Em certa medida o sistema também ganha melhoria de desempenho.

Foram também tratadas algumas questões de segurança, entre as quais a gestão das palavras chave e a autenticação mútua. Nesse sentido propôs-se a utilização da técnica de chave pública e chave privada.

Propôs-se ainda o conceito de domínio, que permite que o holon possa pertencer a várias holarquias simultaneamente. Este conceito fornece ao sistema formas de comportamento semelhantes aos propostos pelo conceito holónico.

Embora deva sofrer várias beneficiações, nomeadamente no que se refere ao tratamento de excepções nas conversações, considera-se que a abordagem seguida é válida e que merece estudos mais aprofundados.

4.3.2 Serviço de Informação

O objectivo deste trabalho inclui o desenvolvimento dum sistema de teste funcional cuja implementação se baseia nas infra-estruturas disponibilizadas pelo HFW. A utilização de tecnologia de objectos distribuídos facilitaria a resolução de vários problemas relacionados com a gestão da informação e conhecimento. Esta tecnologia forma um conjunto complexo de gestão de comunicações e informação em ambientes distribuídos. No entanto, os mecanismos disponibilizados são redundantes e nitidamente superiores às formas de comunicação existentes no HFW, pelo que deixaria de fazer sentido o seu uso. Quando se compreendeu as vantagens do uso desta tecnologia, já muito trabalho havia sido realizado noutras áreas do sistema, pelo que se decidiu continuar o desenvolvimento com esta infra-estrutura, considerando sempre que desenvolvimentos futuros passarão pelo uso desta tecnologia.

Aquando da definição das necessidades dos sistema de informação, foram vários os requisitos apresentados, entre eles várias formas de representação, de disponibilização da informação, linguagens de inquérito e mecanismos de segurança.

A forma de representação está altamente condicionada pelo *framework* não restando muitas dúvidas que será usada a modelização orientada a objectos. A questão das linguagens de inquérito é um problema para o qual já existem várias soluções práticas (e.g. KQML-KIF), mas que se considerou ir para além dos objectivos do caso prático que se deseja implementar. As questões relacionadas com a segurança são tratadas abrangentemente pela tecnologia de objectos distribuídos e nesses termos seria perda de tempo tentar resolver esta questão com a actual implementação, atendendo a que a tecnologia de objectos distribuídos será adoptada.

Considerou-se então que estes três pontos seriam secundários na especificação e desenvolvimento do sistema de informação, pelo que se deu especial atenção à questão da disponibilização da informação, tendo sempre como objectivo a adaptação do sistema ao conceito holónico.

4.3.2.1 Abordagem

A exemplo do que acontece na sociedade humana, estando a informação distribuída pelos vários holons, existe necessidade de saber ou descobrir informação respeitante às actividades, funcionalidades e ambiente. Porém, ao contrário do que acontece com a sociedade humana que é mais ou menos estática, na holarquia os holons alteram a sua localização, aderem e retiram-se dinamicamente, o que torna inviável a existência duma base de dados tipo ficheiro de endereços e actividades. Pelo contrário, deve-se partir do pressuposto que a informação respeitante a qualquer entidade só é válida no momento e situações para que foi disponibilizada. Assim, o holon tem necessidade de continuamente se informar junto dos outros holons dos seus estados, funcionalidades ou qualquer outro tipo de informação.

É sobre estes pressupostos que será desenvolvido o sistema de informação.

4.3.2.1.1 Requisitos do Sistema

Conceptualmente a holarquia forma um sistema de informação distribuído mas centralizado (ver I.7 para uma breve comparação de termos). Ou seja, a informação do sistema é distribuída por vários holons, sendo a sua gestão da competência do seu único proprietário.

Com estas condições iniciais desenvolveu-se um conjunto de propriedades que o sistema de informação deverá evidenciar no sentido de responder aos objectivos pretendidos:

- **Coerência** pois é necessário que a informação a usar no processo de fabrico seja correcta e esteja de acordo com a realidade física;
- **Transparência.** A informação está distribuída pelos diversos holons do sistema o que dificulta consideravelmente a pesquisa por parte do holon. O sistema de informação deve facilitar as tarefas de acesso à informação pública recebendo o pedido e realizando as tarefas necessárias até à sua satisfação, libertando o holon dessas tarefas;

- **Desempenho.** Sendo a informação distribuída por várias entidades, entre os quais não existe ligação física permanente, o tempo de pesquisa e de acesso à informação tende a aumentar, sendo o desempenho global do sistema afectado. O sistema deve procurar garantir características de desempenho aceitáveis;
- **Segurança** porque é necessário que a informação seja utilizada apenas pelas entidades autorizadas da holarquia e apenas na medida em que lhes é possível fazê-lo;
- **Fiabilidade**, pois o sistema de informação é dos componentes com maior importância no sistema produtivo. Se o sistema de informação não funcionar correctamente, o resto do sistema dificilmente funcionará.

Tal como na abordagem sugerida para o sistema de identificação, também agora estes requisitos terão uma resposta directa:

- **Coerência ↔ Regras de Gestão;**
- **Transparência ↔ Cooperação** entre as várias entidades que gerem informação;
- **Desempenho ↔ Redundância e Cooperação;**
- **Segurança ↔ Permissões** baseadas no registo do serviço de identificação;
- **Fiabilidade ↔ Descentralização.**

Refira-se que descentralização não implica forçosamente redundância, embora sem descentralização não seja possível redundância. Refira-se ainda que Redundância não implica incoerência, embora seja uma das propriedades do sistema de informação que se não for bem gerida conduz à incoerência e ambiguidade.

4.3.2.1.2 Proposta

Desde logo se notam necessidades idênticas às definidas para o sistema de identificação. Comparando as propriedades do sistema de identificação com os requisitos apresentados, constata-se que alguns desses requisitos são desde logo garantidos pelo sistema de identificação.

Assim, a abordagem sugerida considera a integração do serviço de informação com o serviço de identificação. Poderá parecer uma proposta desajustada, no entanto esta abordagem é seguida vulgarmente em sistemas como as Páginas Amarelas® ou em sistemas informáticos como o NIS. Estes sistemas, já referidos anteriormente, incluem para além da identificação das entidades, outro tipo de informação respeitante ao sistema, como actividades profissionais nas Páginas Amarelas® ou identificação de protocolos no NIS.

Nestes termos, as entidades responsáveis pelo sistema de identificação passarão também a ser responsáveis pela gestão da informação.

Esta proposta traz desde logo algumas vantagens de desenvolvimento e de operação do sistema:

- **Coerência.** O sistema de identificação é formado por holons cooperantes que executam as suas tarefas baseando-se em regras de gestão. Embora devam ser desenvolvidas regras específicas para a informação, estão desde logo garantidas algumas características

funcionais necessárias, em especial a natureza cooperativa dos holons tão necessária à manutenção da coerência em sistemas descentralizados;

- **Fiabilidade**, já que o sistema de identificação garante essa característica através da descentralização;
- **Segurança**, já que se garante que os pedidos são realizados por entidades devidamente autenticadas. A autenticação é independente e anterior a qualquer tipo de requisição de informação, pelo que os sistemas se mantêm independentes;
- **Eficiência**, pois todos os holons da holarquia dispõem duma conexão permanente com o serviço de nomes que poderá ser utilizada pelo serviço de informação, diminuindo assim os recursos e tempo de ligação necessários. Assim, cada holon terá sempre uma e apenas uma conexão aos dois serviços.

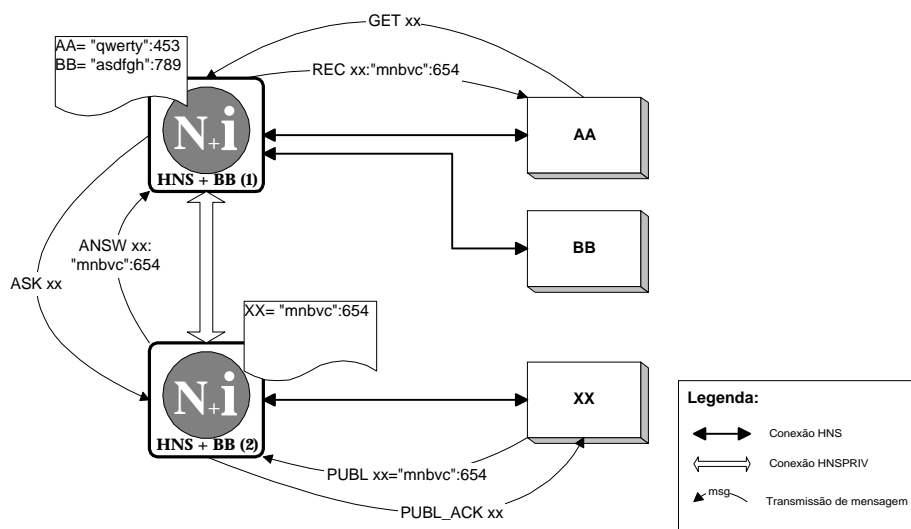


Figura 31 – Funcionamento integrado do sistema de identificação e informação

Esta abordagem prevê portanto a adopção do conceito de *Blackboard*. Qualquer holon que detém informação de interesse geral e que a deseje ver acessível pela comunidade, deverá transmitir essa informação ao *Blackboard*, que posteriormente a disponibilizará sob pedido mediante regras de distribuição impostas quer pelo proprietário quer pelo próprio sistema.

Tendo o holon apenas uma conexão com o *Blackboard*, este será responsável pela disponibilização da informação ou justificação do insucesso perante o holon. O serviço de informação servirá assim de intermediário entre o holon e o resto do sistema de informação (Figura 31), tendo portanto um papel de Agente ou Corrector³². Devido à terminologia normalmente utilizada neste tipo de sistemas e para prevenir qualquer mal entendido com o conceito de Sistema Multi-Agente, a nomenclatura a usar será *Broker*. Assim sendo, a entidade não se limita a ser um local de publicação de informação como tem também um papel activo

³² Corrector advém da terminologia anglo-saxónica *Broker*.

na procura e disponibilização da informação, pelo que se decidiu denominar esse tipo de entidade *Blackboard-Broker* (BB).

É sobre a interligação e gestão destes sistemas que as próximas secções versarão.

4.3.2.2 Implementação

Praticamente todas as questões importantes para o desenvolvimento do sistema de informação foram já definidas, sendo a mais importante o facto deste sistema adoptar os mecanismos e métodos do sistema de identificação para as suas actividades. Descreve-se nesta secção as fases mais importantes do desenvolvimento e adaptação do sistema existente às novas necessidades.

4.3.2.2.1 Encaminhamento

Embora a identificação e a gestão da informação sejam realizadas sobre a mesma conexão, trata-se de conversações diferentes e distintas, sendo incumbência do protocolo associado à conexão encaminhar as mensagens para a conversação correcta (Figura 32).

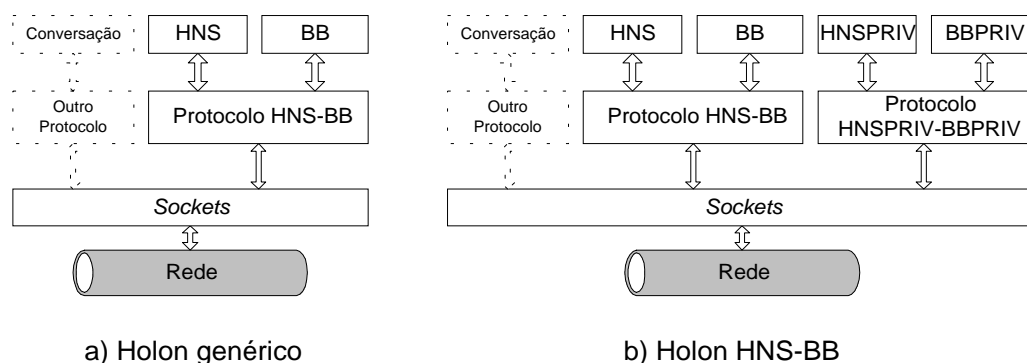


Figura 32 – Protocolos e conversações dos serviços de identificação e informação

O protocolo deve ter contudo uma função mais dinâmica e decisória do que simplesmente comparar os identificadores das mensagens e encaminhá-las para a conversação. Deve ser responsável pelo controlo da conexão e pela sua correcta utilização. Imagine-se por exemplo, que determinado holon pede o seu registo na holarquia. A dada altura o HNS transmite o pedido de autenticação ao qual o holon deve responder com a mensagem contendo a sua palavra chave. Contudo, aproveitando o facto de manter nesta altura a conexão aberta com o HNS, o holon poderia emitir mensagens de requisição de informação, ao que o protocolo encaminharia para a conversação BB. Como foi referido anteriormente, a conversação BB serve-se da autenticação realizada pela conversação HNS para garantir a disponibilização de informação a holons “seguros”, garantia essa que não existiria nesta circunstância.

O protocolo deve portanto ser um gestor da conexão e zelar para que as mensagens sejam encaminhadas para o protocolo superior apenas quando faz sentido.

Está assim teoricamente garantido que não haverá intromissão ou conflitos entre mensagens de conversações diferentes.

4.3.2.2 Coerência

É necessário agora definir regras de gestão que garantam a coerência da informação. Alguns desses princípios já foram referidos e tidos em consideração na abordagem proposta, outros serão referidos pela primeira vez:

- A informação tem um proprietário que é o único responsável pela sua gestão;
- O proprietário é responsável pela publicação e disponibilização da informação;
- O proprietário limita a validade temporal da informação;
- A informação só é válida quando disponibilizada pelo proprietário ou pelo BB e dentro da validade temporal;
- A informação deve manter-se inalterável até que a última informação disponibilizada perca a validade temporal;
- A informação mantém-se válida apenas enquanto o proprietário se mantiver registado, sendo imediatamente retirada da base de dados;

Por mais regras que se imponham ao sistema de gestão de informação, nada é suficiente se considerarmos que o holon é o proprietário da informação e que ele próprio cria a informação que deseja, não havendo qualquer controlo sobre o conteúdo dessa informação.

Por exemplo, uma situação para a qual ainda não se encontrou solução, advém do facto da informação não ter um identificador único, considerado e cumprido por todas as entidades, pelo que o *Blackboard* não tem capacidade de gestão da duplicação ou incoerência da informação. Essa responsabilidade terá de ser do holon proprietário que deverá ter em atenção esses pormenores. Por exemplo, durante o processo de alteração da informação publicada, esta deverá ser antes do mais retirada e só depois publicada de novo.

Neste termos, o holon pode criar informação redundante, incoerente e ambígua e disponibilizá-la na base de dados, sem que essa atitude ou os resultados sejam perceptíveis, a ponto de serem negados pelo *Blackboard*. Concluindo, mais do que imposição de regras de gestão, o holon deve ser cooperativamente coerente, objectivo e honesto na informação que publica.

4.3.2.3 Tipo de Informação

Uma questão importante a colocar é sobre o tipo de informação que irá ser tratada. O *framework* fornece de base mecanismos de disponibilização de informação da sua base de dados privada através do protocolo privado, para o que disponibiliza várias interfaces. O tipo de informação gerido é bastante simples se tivermos em consideração a complexidade da informação manipulada por um sistema de produção. Deve-se, no entanto, referir que grande parte dessa informação é modelizada por entidades que representam no sistema a própria informação, pelo que a informação transmitida entre holons é sempre bastante simples.

No início do trabalho considerou-se apenas a informação gerida directamente pelo *framework*. Posteriormente considerou-se essa base de dados e os mecanismos inerentes algo limitativos e

no sentido de flexibilizar o sistema passou a tratar-se o processo ao nível da aplicação. A informação passou a ser mais genérica, contudo sempre dependente dos métodos associados à informação e não do conhecimento que os holons detêm desta. Ou seja, a manipulação da informação depende de métodos e não de meta-conhecimento, o que seria desejável.

Assim, para que o tipo de informação evolua é necessário que o código dos seus métodos evolua em todos os holons que a manipulam. Este requisito é bastante simples de cumprir, dado que o sistema implementado é modular. Os módulos constituintes de cada holon são desenvolvidos separadamente e posteriormente incluídos nos vários holons. Assim, sem ser um sistema dinamicamente evolutivo é contudo bastante simples de o fazer evoluir (Figura 33).

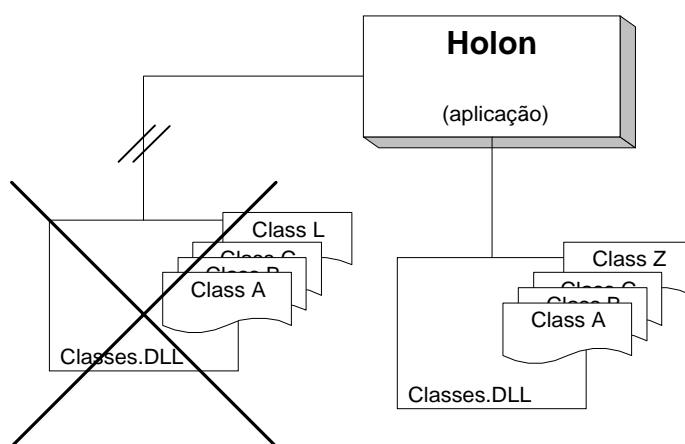


Figura 33 – Estrutura modular do holon: alterabilidade da informação

Explicado numa forma muito genérica o funcionamento, esta parte do sistema baseia-se na informação existente em cada objecto acerca da sua classe (ou tipo) e na definição duma parte do objecto que servirá de identificador de pesquisa. Quando o holon necessita de informação existente num objecto de determinada classe cria uma mensagem, na qual envia um objecto desse tipo com os valores nos campos necessários à sua identificação na base de dados. Ao receber a mensagem o BB verifica a classe do objecto requisitado. Se tiver informação acerca dessa classe, procurará toda a base de dados por objectos dessa classe. Sempre que encontrar um, o objecto terá métodos responsáveis pela comparação e validação da escolha em função dos valores do objecto enviado.

Imagine-se por exemplo que determinado holon necessita de saber quem realiza determinada operação no sistema. Como é obvio, a questão dos identificadores da operação não é válida neste tipo de sistemas, pois na empresa virtual cada entidade tem necessariamente codificações diferentes para tarefas semelhantes.

Assim, a comparação de objectos Operação terá de ser mais complexa que essa simples comparação. A classe do objecto deverá disponibilizar métodos que comparem os dois objectos e que concluam acerca da sua semelhança e compatibilidade. Imagine-se por exemplo que na operação requisitada era especificado um requisito de qualidade 30. Será que apenas o 30 é válido? Se um recurso fizer a mesma operação com qualidade 60 deixa de ser compatível?

Não compete contudo ao sistema de informação definir estas questões, pois este recorre a sistemas externos (e.g. Classes.DLL na Figura 33) que pode ser alterada a qualquer momento pelo gestor do sistema. Ou seja, a forma de comparar dois objectos é alterável ao longo do tempo de forma independente do sistema de informação (Figura 34).

No caso de existirem objectos compatíveis, o HNS criará uma mensagem onde incluirá o objecto e o enviará ao holon. No caso de não existir na sua base de dados ou não reconhecer a classe, redirecciona o pedido para os outros BB com quem tem ligação.

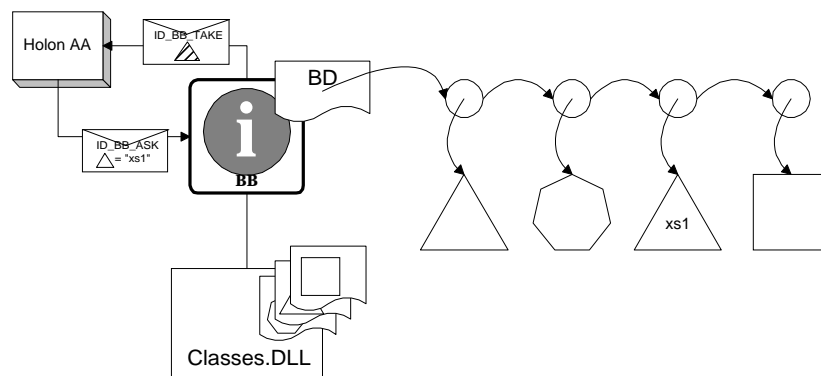


Figura 34 – Base de Dados Genérica e Dinâmica

Trata-se dum método algo rebuscado e sujeito a alguns pormenores de implementação no ambiente e linguagem de programação utilizada, pelo que não será facilmente generalizável a outros sistemas e ambientes, contudo muito eficiente e com grandes potencialidades, mesmo se adoptado sob tecnologia de objectos distribuídos.

4.3.2.2.4 Conversações

Apresenta-se neste ponto as conversações associadas ao serviço de informação.

Existem três conversações distintas:

- **Publicação**, que se inicia quando o holon decide tornar pública determinada informação do qual é proprietário;
- **Requisição e Disponibilização**, que se inicia quando determinado holon requisita informação ao BB. Este pesquisa a sua base de dados ou redirecciona o pedido para os seus semelhantes;
- **Despublicação**³³, que corresponde ao processo de retirada da informação do *Blackboard*.

³³ Despublicação é um termo não existente em português, que se deseja signifique o mesmo que “*unpublishing*” em terminologia anglo-saxónica, e que é retirar de publicação.

4.3.2.2.4.1 Publicação

A conversação referente à publicação de informação é muito simples, e corresponde à troca de mensagens apresentada na Figura 35. Aos identificadores da mensagem deve-se adicionar o prefixo ID_BB.

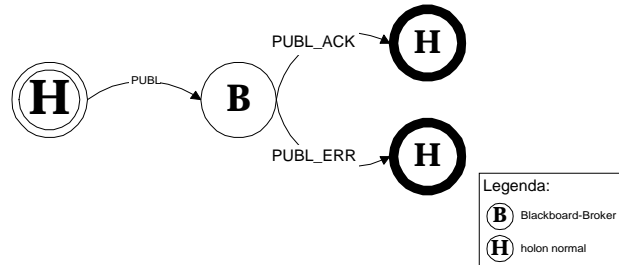


Figura 35 - Sequência de mensagens de publicação no *Blackboard*

O processo inicia-se com o pedido de publicação de informação do holon através da mensagem:

- **Identificador da mensagem**, ID_BB_PUB;
- **Identificador da publicação** normalmente numérico. Serve para identificar a mensagem de resposta a este pedido. No caso de existirem várias conversações de publicação entre os dois holons, este valor identifica a qual se refere;
- **Informação**, corresponde ao objecto a publicar;
- **Validade**, composta por data e hora até à qual a informação é válida.

O *Blackboard* adicionará a informação à sua base de dados, à qual associará o identificador do holon, para futuras alterações.

No caso do processo ser bem sucedido o *Blackboard* emitirá uma mensagem com o formato:

- **Identificador da mensagem**, ID_BB_PUBL_ACK;
- **Identificador da publicação**, igual ao enviado pelo holon na mensagem de publicação.

No caso do processo não ter sucesso, é enviada uma mensagem para o holon com o seguinte formato:

- **Identificador da mensagem**, ID_BB_PUBL_ERR;
- **Identificador da publicação**, igual ao enviado pelo holon na mensagem precedente;
- **Código do erro**. O código tem para já os seguintes valores e significados:

Código	Erro
ID_BB_PUBL_ERR_CLASS_UNK	Tipo de objecto desconhecido
ID_BB_PUBL_ERR_SPACE_UNK	Espaço insuficiente
ID_BB_PUBL_ERR_UND	Erro indefinido

4.3.2.2.4.2 Requisição e Disponibilização

A fase de requisição e disponibilização da informação está representada na Figura 36.

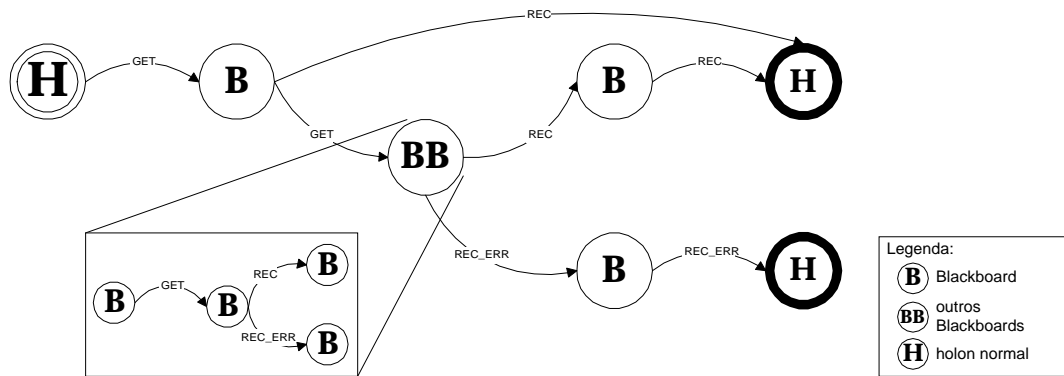


Figura 36 - Sequência de mensagens de requisição de informação

O processo inicia-se com o pedido de informação do holon ao seu *Blackboard*, através da mensagem:

- **Identificador da mensagem:** ID_BB_GET;
- **Identificador da publicação** normalmente numérico. Serve para identificar a mensagem de resposta a este pedido. No caso de existirem várias conversações de requisição simultâneas entre os dois holons, este valor identifica a qual se refere;
- **Informação**, correspondente ao objecto a requisitar. Os valores deste objecto serão comparados na pesquisa à base de dados do *Blackboard* e como tal definirão o objecto pretendido.

Ao receber a mensagem, o *Blackboard*, pesquisa a sua base de dados. Se não encontrar o objecto pretendido, reenvia o pedido para os restantes *Blackboards* que executarão o mesmo procedimento, excepto no que se refere ao reenvio do pedido para outros *Blackboards*, tal como apresentado na ampliação do processo em BB.

As mensagens representadas na Figura 36 com o mesmo identificador têm formato e conteúdo iguais, apenas varia o identificador ao qual deve ser acrescentado os prefixos ID_BB ou ID_BBPRIV se a conversação se der entre o holon e o *Blackboard* ou entre o *Blackboard* e os restantes *Blackboards*, respectivamente.

A conversação segue com o envio ao holon da informação requisitada ou o envio do motivo de não a disponibilizar. Se disponibilizar a informação usa-se a mensagem seguinte:

- **Informação**, corresponde ao objecto disponibilizado;
- **Validade**, composta por data e hora até à qual a informação é válida, e que deve ser igual ou menor que aquela que o proprietário especificou aquando da publicação.

No processo de disponibilização, o holon deverá criar um registo dos holons a quem a informação foi disponibilizada e a validade com que a informação foi transmitida. Este procedimento é importante aquando da despublicação, pois nessa altura vai ser necessário saber qual a validade da informação disponibilizada.

Se o *Blackboard* não encontrou a informação ou ocorreu algum problema que o impeça de disponibilizar a informação, responde com a mensagem:

- **Identificador da mensagem**, ID_BB_REC_ERR;
- **Identificador da requisição** correspondente ao identificador enviado na mensagem de requisição;
- **Código do erro**. O código tem para já os seguintes valores e significados:

Código	Erro
ID_BB(PRIV)_REC_ERR_CLASS_UNK	Tipo de objecto desconhecido
ID_BB(PRIV)_REC_ERR_OBJ_UNK	Objecto desconhecido
ID_BB(PRIV)_REC_ERR_UND	Erro indefinido

4.3.2.2.4.3 Despublicação

A fase de despublicação está representada na Figura 37. Repare-se que esta conversação ocorre entre o holon e o seu *Blackboard*, pois sabe-se de antemão que o holon não publica informação em mais nenhum *Blackboard*.

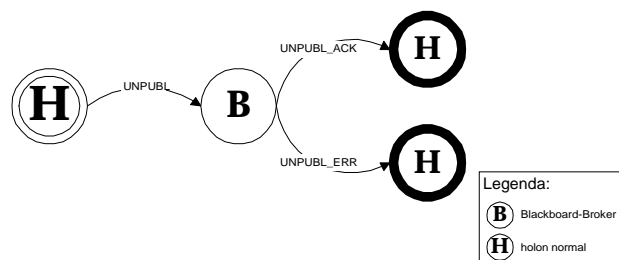


Figura 37 - Sequência de mensagens de despublicação do *Blackboard*

A primeira mensagem da conversação é emitida pelo holon, e tem o seguinte formato:

- **Identificador da mensagem**: ID_BB_UNPUBL;
- **Identificador da despublicação** normalmente numérico, e tal como nas outras mensagens serve para identificar a mensagem de resposta a este pedido;
- **Informação**, correspondente ao objecto a despublicar. Os valores deste objecto serão comparados na pesquisa à base de dados do *Blackboard* e como tal definirão o objecto pretendido. Contudo, não basta que o objecto seja encontrado, também é necessário que o objecto tenha sido criado pelo holon requisitante.

O processo de despublicação sofre dalguns problemas, nomeadamente no que se refere à validade da informação disponibilizada a outros holons. Se o holon despublica a informação é porque a informação deixa de ser válida, no entanto essa informação existe no sistema com uma validade superior, o que cria incoerência e ambiguidade.

Dada a complexidade do problema, optou-se por compreender o processo de publicação e disponibilização da informação como a prestação dum serviço que inclui uma validade temporal, não sendo possível alterá-la. Assim, o holon que requisita a despublicação, terá de esperar até que termine a validade da informação entretanto disponibilizada a outros holons.

No caso da despublicação ser bem sucedida, o *Blackboard* responderá ao holon com a seguinte mensagem:

- **Identificador da mensagem**, ID_BB_UNPUBL_ACK;
- **Identificador da requisição** correspondente ao identificador enviado na mensagem de requisição;
- **Informação** correspondente ao objecto despublicado.

Finalmente, no caso de ocorrer alguma situação que não permita a despublicação, é enviado ao holon a seguinte mensagem:

- **Identificador da mensagem**, ID_BB_UNPUBL_ERR;
- **Identificador da requisição** correspondente ao identificador enviado na mensagem de requisição;
- **Código do erro**. O código tem para já os seguintes valores e significados:

Código	Erro
ID_BB_UNPUBL_ERR_CLASS_UNK	Tipo de objecto desconhecido
ID_BB_UNPUBL_ERR_OBJ_UNK	Objecto desconhecido
ID_BB_UNPUBL_ERR_NOTOWN	O holon requisitante não é o proprietário
ID_BB_UNPUBL_ERR_UND	Erro indefinido

4.3.2.3 Resumo sobre o Serviço de Informação

Apresentou-se nesta secção o serviço de informação desenvolvido, descrevendo não só o sistema e a sua implementação, como também as motivações, as razões das opções e algumas limitações.

O sistema de informação desenvolvido caracteriza-se fundamentalmente pela forma como adopta os serviços fornecidos pelo sistema de identificação previamente desenvolvido e pela adopção do conceito de *Blackboard-Broker*.

Uma nota interessante acerca do sistema é a facilidade de alterabilidade e generalidade de informação tratada, o que fornece ao sistema de produção mecanismos de dinamismo e evolução. As funcionalidades disponibilizadas pelos *Blackboards* são completamente independentes do conceito de domínio, ficando a cargo do holon a interligação e gestão da informação ponto a ponto e entre holons de domínios diferentes.

Concluindo, o sistema de informação desenvolvido evidencia propriedades de fiabilidade, algum tipo de segurança e coerência, ficando sempre muito dependente das atitudes particulares dos holons.

Podem-se considerar várias evoluções possíveis, a mais importante porventura é a questão da validade da informação. A redundância da informação que foi referida como necessária para responder a questões de desempenho é outro desses pontos. No entanto, e como foi referido

desde o início, o sistema desenvolvido dificilmente sobreviverá às evoluções tecnológicas referidas, nomeadamente à tecnologia de objectos distribuídos.

4.3.3 Escalonamento

Tal como foi idealizado aquando da definição da arquitectura do sistema de produção (4.1), o sistema de escalonamento entrará em funcionamento sempre que uma nova tarefa for lançada no sistema produtivo, sendo nessa altura criado um novo holon Tarefa. Considerar-se-á neste trabalho, que Tarefa corresponde à produção de n produtos do mesmo tipo, tipo este que é representado por um holon do tipo Produto.

O Produto define qual o plano de processo a utilizar e outras condições de fabrico, mas cabe à Tarefa a definição de quais os Recursos que realizarão cada operação da Tarefa. A Tarefa deverá contactar e negociar com todos os Recursos capazes de realizar cada operação do plano de fabrico do produto. É possível que cada Recurso negocie a execução de várias operações e cada operação poderá ser negociada por vários Recursos, o que equivale a uma relação $n*m$.

Considera-se plano de processo como um conjunto de operações caracterizadas por:

- Relações de precedência (Figura 38). Determinada operação pode ser precedida por várias outras, o que implica que não se possa iniciar sem que todas as anteriores terminem. As primeiras operações não são precedidas, e as últimas não precedem outras.

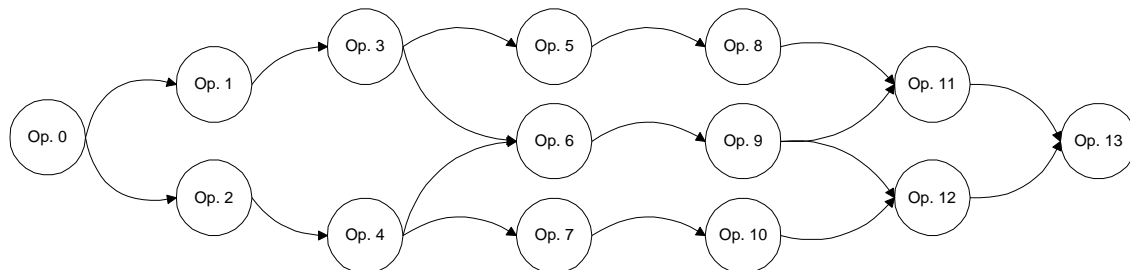


Figura 38 – Relações de precedência e paralelismo entre operações

- Operações realizáveis num número previamente indefinido de Recursos. Tratando-se o sistema holónico numa estrutura e organização dinâmica, o conjunto de recursos com capacidade de realização de certa operação varia ao longo do tempo;
- Duração temporal indefinida. É necessário que o planeamento de processo defina uma duração média por operação, no entanto, o escalonamento não deverá ser realizado com esse pressuposto. A forma como determinada operação é realizável depende do recurso em que é executada, pelo que não faz muito sentido realizar o escalonamento com tempos médios. Este elemento é uma limitação de grande parte dos sistemas de escalonamento, sendo também uma das limitações do método de escalonamento original, e um dos desafios colocados ao sistema a implementar.

Como já foi referido, é necessário aplicar no sistema um método de escalonamento. Entende-se por método de escalonamento, um conjunto de regras e mecanismos que defina e sistematize o procedimento de escalonamento. Foi entendido ser vantajoso o estudo e posterior adaptação dum método já existente, do que o seu desenvolvimento de raiz.

As próximas secções dedicar-se-ão a apresentar os métodos e fases de desenvolvimento que conduziram ao método final proposto. Apresenta-se inicialmente um método de escalonamento para sistemas centralizados que se considera ser o método original. De seguida apresenta-se o método que surgiu das primeiras adaptações do método original a sistemas holónicos. Finalmente apresenta-se o método proposto, caracterizando-o e descrevendo algumas das optimizações adoptadas.

4.3.3.1 Método Original

O algoritmo original foi apresentado pela primeira vez por [Ramos, 95], sendo o seu objectivo principal o escalonamento de operações considerando limitações temporais.

Far-se-á aqui apenas uma breve descrição do método, pode ser encontrada uma descrição mais detalhada em [Almeida, 95] e [Marinho, 97].

O método parte dos seguintes pressupostos:

- O plano de fabrico obedece a um comportamento específico, isto é o início e o fim da operação é estabelecido previamente;
- Cada operação é realizável num único Recurso;
- Cada Recurso tem *buffer*³⁴ de entrada e saída de tamanho zero, o que implica que por cada produto fabricado, este terá de passar para o recurso da operação seguinte;
- Cada operação, como é realizada no mesmo Recurso, tem sempre a mesma duração;
- Podem ser sugeridos intervalos de tempo superiores ao necessário.

O método de escalonamento baseia-se no princípio de precedência e como tal na influência de intervalos de tempo entre operações. Ou seja, os intervalos de tempo em que determinada operação pode ser realizada vão influenciar directamente os intervalos de tempo possíveis para realizar a operação precedida.

O método é composto por três fases:

- **Fase de Influência Directa**, na qual são calculados os intervalos de tempo onde é possível realizar a operação, em função da sua agenda, intervalos das operações precedentes e tempos iniciais e finais;
- **Fase de Influência Inversa**, na qual os Recursos seguintes informam os anteriores das possibilidades de realização mediante os intervalos sugeridos;
- **Fase de Escolha**, na qual são escolhidos os intervalos de tempo possíveis.

³⁴ Entende-se *buffer* como sendo um armazém de produtos semi-acabados.

4.3.3.1.1 Fase de Influência Directa

Em função da agenda do recurso, é efectuado o cálculo dos intervalos para cada operação considerando simultaneamente a lista de intervalos em que a operação anterior pode ser realizada, o tempo necessário para a realização do resto das tarefas e a data limite. Ou seja, a operação nunca pode iniciar-se antes da anterior terminar, nem pode acabar tão tarde que as operações restantes não tenham tempo para serem realizadas. A mesma operação no mesmo Recurso pode ser realizada em vários intervalos, mas sempre dentro dos limites definidos para a operação (Figura 39).

A operação apenas pode iniciar-se quando uma unidade de produto passar por todas as operações anteriores, e deve terminar de forma a que ainda seja possível realizar todas as outras operações. Este cálculo é possível em qualquer momento, visto que cada operação tem um tempo médio predefinido.

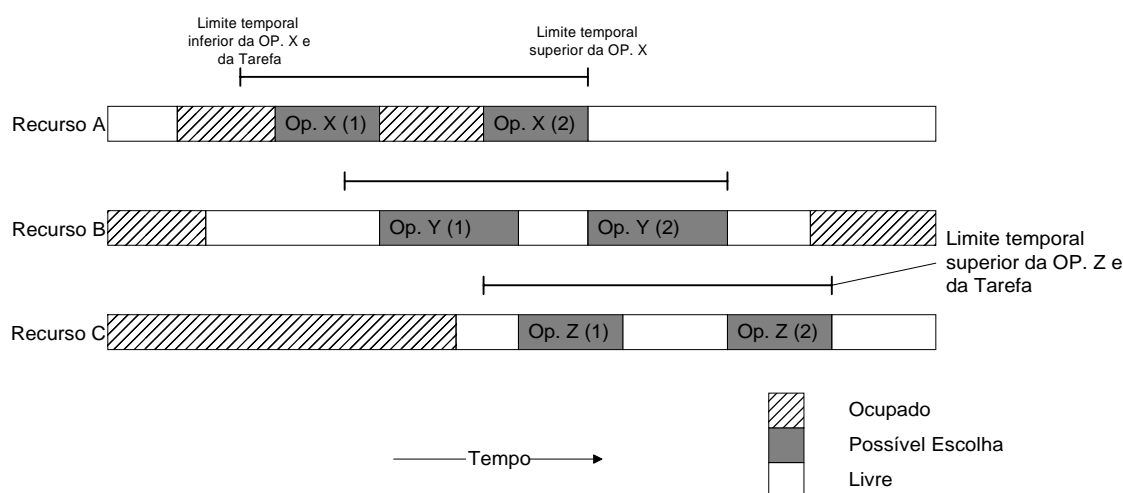


Figura 39 – Fase de influência directa

A Figura 39 representa o escalonamento duma tarefa de fabrico de uma unidade dum produto cujo processo é composto por três operações, X, Y e Z, tendo duração 3, 4 e 3 unidades de tempo respectivamente.

A lista de intervalos de tempo calculada para cada operação influenciará o cálculo dos intervalos de tempo para as operações que precede. Este processo é iterativo desde a primeira à última operação. As excepções dão-se na primeira operação que não tem precedentes, e na última, que não tem operações para influenciar.

4.3.3.1.2 Fase de Influência Inversa

Repare-se no entanto, que os intervalos de tempo possíveis para determinada operação, poderão não ter correspondência nas seguintes. A Figura 40 apresenta o caso descrito na secção anterior (Fase de Influência Directa), excepto no que respeita aos intervalos sugeridos pelos recursos. Nesta situação o segundo intervalo de tempo possível para a operação X no Recurso A não tem correspondência no Recurso B para a operação Y.

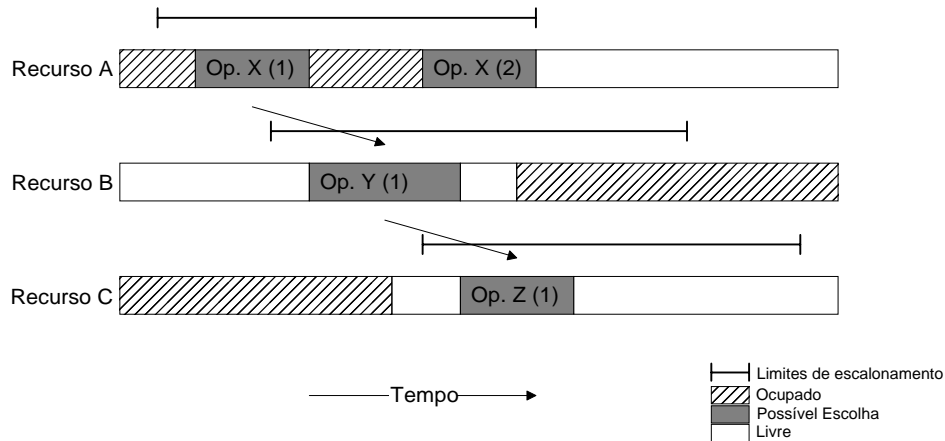


Figura 40 – Não correspondência de intervalos de tempo

Torna-se portanto necessário informar os recursos anteriores acerca dos intervalos que se mantêm válidos e passíveis de serem utilizados. Este processo, denominado Fase de Influência Inversa inicia-se quando o último recurso termina o cálculo da sua lista de intervalos. Este recurso envia a sua lista definitiva para o anterior, que por sua vez a compara com a sua e a ajusta de forma a corresponderem. Depois da lista ser ajustada, é enviada para o recurso anterior, que repete o processo. Esta fase termina quando o primeiro recurso terminar o ajustamento da sua lista.

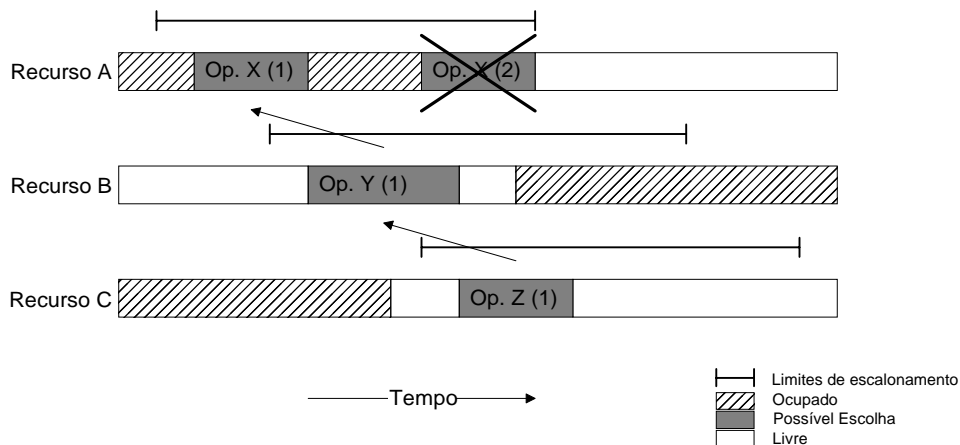


Figura 41 – Fase de influência inversa

No seguimento do processo descrito inicialmente na Figura 40, agora na Figura 41 o intervalo sugerido inicialmente para a Op. 2 não é correspondido e portanto deve ser anulado.

4.3.3.1.3 Fase de Escolha

No fim da fase de influência inversa, estão definidos os intervalos possíveis de serem utilizados, organizados segundo sequências possíveis. Uma sequência é um conjunto de intervalos de tempo que são utilizáveis em conjunto. Na Figura 39, por exemplo, existem duas

sequências possíveis: a sequência 1 formada pelos intervalos Op. X (1), Op. Y (1) e Op. Z (1) e a 2 pelos intervalos Op. X (2), Op. Y (2) e Op. Z (2).

Será sobre estas sequências que a escolha será realizada. Contudo, o processo de escolha é algo mais do que a escolha duma sequência. Isto deve-se ao facto do algoritmo de cálculo de intervalos poder especificar intervalos de tempo maiores que o necessário para a realização da operação, correspondendo o tempo excedente a folgas. Esta situação implica que para além da escolha da sequência seja necessário ajustar a operação dentro do intervalo sugerido, que tanto pode ser à esquerda, à direita (*just-in-time*) e em função de muitos e variados factores.

4.3.3.1.4 Algumas Considerações

Se confrontarmos o método com as condições e objectivos do sistema de escalonamento descrito, algumas questões importantes devem ser referidas:

- No método original cada operação apenas é realizável num recurso. Por seu lado, o sistema descrito define que a Tarefa deverá requisitar a execução a todos os Recursos capazes de realizar a operação;
- O método original determina que a lista de intervalos precedente influencia a lista de intervalos da operação actual. No sistema proposto, a operação é potencialmente realizável por um número indeterminado de recursos, o que cria alguns problemas ao recurso que deve esperar pela(s) lista(s) anteriores;
- No método original, a escolha faz-se sobre várias sequências de intervalos distintos. Porém, no sistema preconizado, existem vários recursos a negociar a mesma operação, o que poderá implicar que a operação seja possível em dois recursos simultaneamente. Esta situação acrescenta uma nova dimensão ao problema;
- O número de soluções possíveis no método original é normalmente pequeno. Um dos objectivos da negociação com todos os recursos capazes de realizar determinada operação, é encontrar soluções que não seriam obtidas pelo método original e ser mais adequado à realidade, contudo, isso poderá conduzir a números exagerados e ser prejudicial no desempenho do sistema.

4.3.3.1.5 Método Adaptado

A primeira adaptação deste método a sistemas holónicos de produção foi apresentada em [Ramos, 96] e posteriormente melhorada em [Sousa, 97]. As adaptações consideram que cada recurso é representado por um holon distinto e específico, o Recurso, responsável pela gestão da agenda e actividades do recurso físico, pelo que a Tarefa deve negociar com estes a realização das diversas operações.

Da adaptação apresentada em [Sousa, 97] constata-se quatro fases distintas:

- **Fase de Lançamento**, é a fase em que a Tarefa anuncia a cada Recurso as operações que deverá negociar, sendo que cada Recurso poderá receber anúncios para várias operações;
- **Fase de Influência Directa**. Nesta fase, cada Recurso deve esperar pela lista de intervalos de tempo de todos os recursos da operação anterior. Para cada lista recebida, deverá gerar

uma lista de intervalos de tempo influenciados, e enviá-la para os Recursos seguintes (Figura 42). Tal como acontecia no método original, o processo termina quando os recursos estiverem a negociar a última operação do plano;

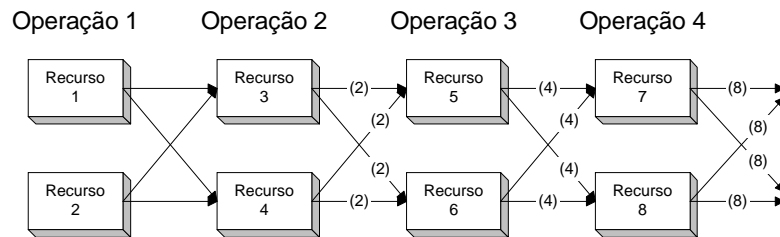


Figura 42 – Fase de Influência Directa: mensagens transmitidas

- **Fase de Influência Inversa.** Tal como no método original e pelas mesmas razões que as então apresentadas, torna-se necessário a fase de influência inversa. Para isso, os últimos recursos iniciarão o processo enviando para os anteriores as suas listas de intervalos. Cada Recurso deverá esperar pela lista de intervalos de todos os Recursos seguintes, gerar uma lista com os seus intervalos influenciados e enviá-la simultaneamente aos recursos anteriores e à Tarefa (Figura 43);

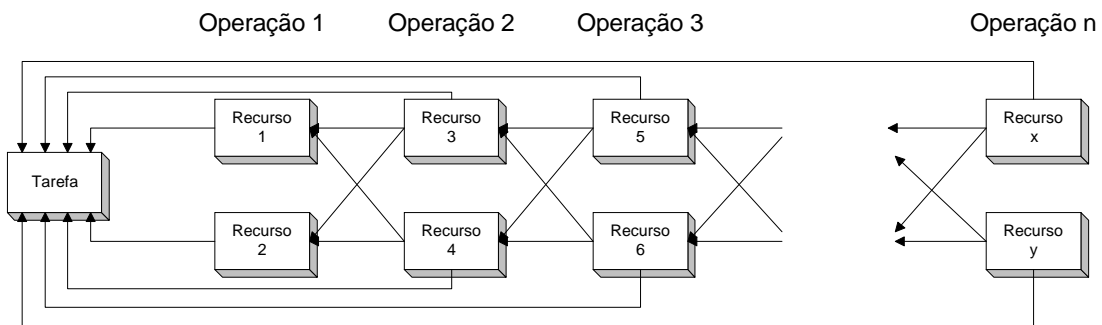


Figura 43 – Fase influência inversa: mensagens transmitidas

- **Fase de Escolha.** A Tarefa encarregar-se-á da escolha das associações intervalos-Recursos, baseando-se em regras heurísticas.

4.3.3.2 Método proposto

O método proposto, adaptado do anterior, baseia-se no pressuposto que não é necessário ao longo do processo de influência dos intervalos de tempo, conhecer-se o Recurso capaz de executar determinada operação em determinado intervalo de tempo, basta saber que é possível. A partir deste pressuposto algumas alterações são propostas, incluindo a definição duma nova fase do processo, anterior a todas as outras, denominada Fase de Requisição.

4.3.3.2.1 Fase de Requisição

Antes de qualquer negociação, a Tarefa deve iniciar o processo questionando os Recursos acerca da realização de cada operação. Este processo tem duas finalidades:

- Posteriormente informar cada Recurso de quais aqueles que negoceiam a operação anterior, para que tenha conhecimento do número de listas de intervalos por que deve esperar;
- Determinar o tempo mínimo de duração das operações. A Tarefa informa cada Recurso do tempo mínimo de duração das operações restantes, ou seja, as operações que faltam para finalizar o plano, o que permite ao Recurso estender o seu limite superior de escalonamento até ao máximo, mantendo contudo a utilidade dos intervalos sugeridos, pois sabe-se que existirá sempre uma situação em que o intervalo superior fará sentido.

Assim, além do requisito de negociação da operação, o Recurso recebe da Tarefa:

- Informação de quais os recursos que negoceiam as operações precedentes;
- Informação que lhe permite determinar o seu limite superior de escalonamento.

4.3.3.2.2 Fase de Influência Directa

Em vez de emitir uma lista de intervalos influenciados por cada lista recebida dos Recursos anteriores, o Recurso deve esperar por todas as listas, concatená-las e emitir apenas uma lista de intervalos influenciados para os seguintes.

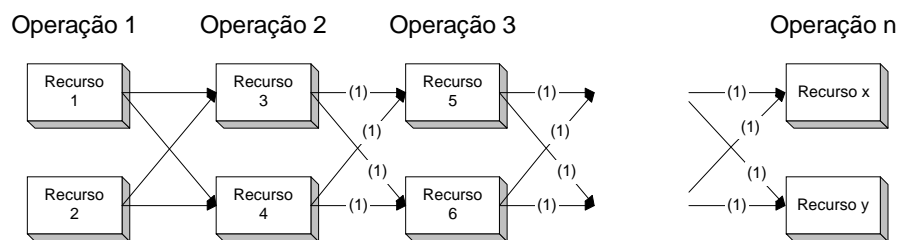


Figura 44 – Número de mensagens transmitidas

Esta alteração, faz com que o número de mensagens transmitidas seja substancialmente menor que no método anterior. Enquanto no método adaptado o número de mensagens cresce de acordo com a seguinte fórmula:

$$\prod_{i=1}^{n-1} m_i$$

sendo m_i o número de recursos a negociar a operação i .

No método proposto o seu número cresce linearmente:

$$\sum_{i=1}^{n-1} m_i * m_{i+1}$$

A Figura 45 representa o número de mensagens transmitidas no processo de escalonamento numa Tarefa com 7 operações, sendo cada operação negociada por dois Recursos.

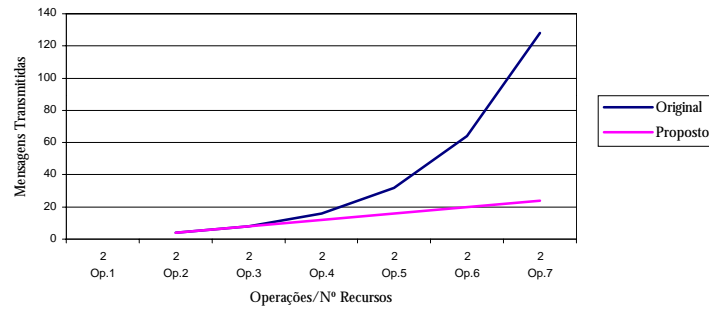


Figura 45 – Número de mensagens transmitidas

Como não se dá a explosão combinatória do número de mensagens transmitidas, continua a ser viável procurar todas as soluções.

Quando o Recurso recebe as listas de intervalos dos Recursos anteriores, junta-os numa única lista que utilizará para influenciar os seus intervalos. Tal como no método original, se o intervalo sugerido anteriormente não tiver correspondência no recurso seguinte será ignorado, e a lista emitida não o contemplará. O Recurso apenas terá de informar os seguintes dos intervalos que ele próprio pode utilizar. Porém, se paralelamente existir algum Recurso que tenha disponibilidade para corresponder, esse intervalo será enviado para os seguintes.

A Figura 46 exemplifica esta situação. Os Recursos J e K, são os recursos com capacidade de execução da operação n . Ambos concatenam as listas recebidas dos Recursos anteriores, o que implica que ambos processarão a mesma lista de intervalos. Depois disso, influenciarão os seus intervalos disponíveis e enviarão uma única lista para os recursos seguintes, que da mesma forma processarão os intervalos recebidos.

Dos intervalos sugeridos da operação anterior, o intervalo 3 não tem correspondência em qualquer dos Recursos, o que faz com que seja ignorado daí em diante.

Embora na Figura 46 não se exemplifique essa situação, os intervalos sugeridos por cada um dos recursos podem ser total ou parcialmente coincidentes, sendo cada um deles tratado individualmente.

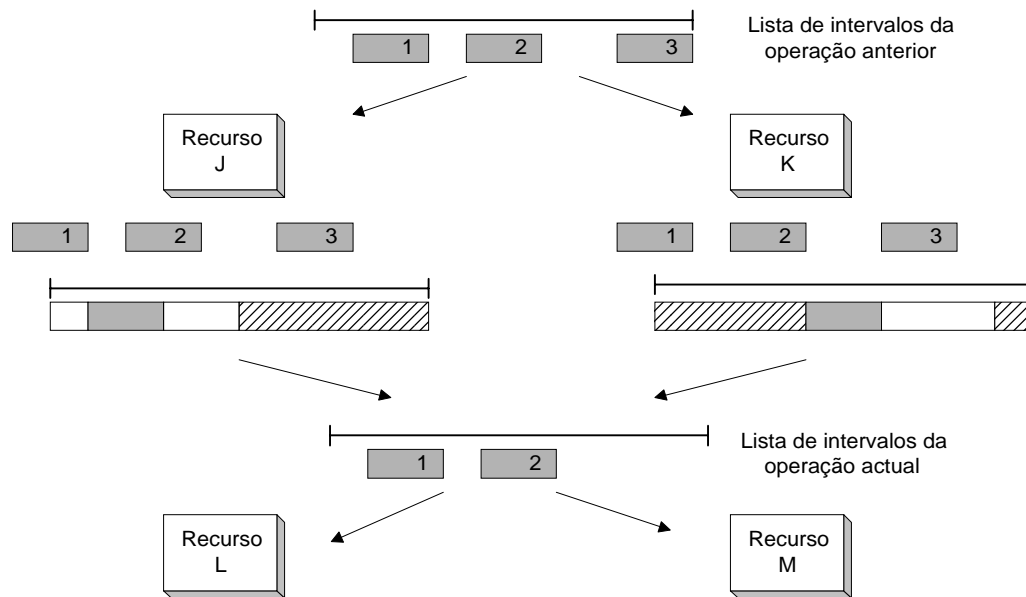


Figura 46 – Fase de Influência Directa: agrupamento de intervalos

4.3.3.2.3 Fase de Influência Inversa

Na fase de influência inversa o processamento é semelhante ao descrito para o método adaptado, ou seja, os Recursos esperam por todas as listas dos recursos seguintes e enviam a lista de intervalos influenciados para os anteriores e para a Tarefa.

A Figura 47 representa a fase de influência inversa nos mesmos Recursos e operação que a Figura 46. Dos dois intervalos sugeridos na fase de influência directa, apenas o 2 teve correspondência nos Recursos seguintes, pelo que o intervalo sugerido pelo Recurso J, deve ser ignorado e não deve ser enviado para os recursos anteriores. Assim, da lista de intervalos inicialmente sugerida pelos recursos da operação $n-1$, apenas o intervalo 2 será aproveitado.

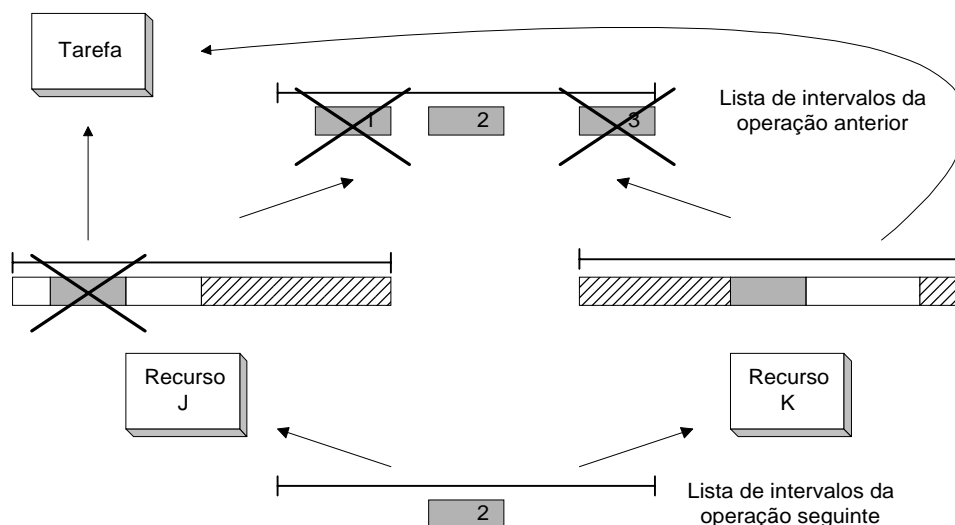


Figura 47 – Fase de Influência Inversa: anulação de intervalos

Além disso, o Recurso deve indicar juntamente com o intervalo sugerido qual o recurso que executará a operação seguinte (se este for escolhido). No fundo corresponde a informar à Tarefa qual foi o recurso que correspondeu a esse intervalo.

4.3.3.2.4 Fase de Escolha

A fase anterior disponibiliza no holon Tarefa várias listas de intervalos. Cada intervalo contém informação acerca do recurso que o gerou e da operação a que se refere. A sequência pela qual chegam à Tarefa é arbitrária, no entanto, em função da informação associada podem ser agrupados em sequências de intervalos (Figura 48), o que facilita substancialmente a escolha.

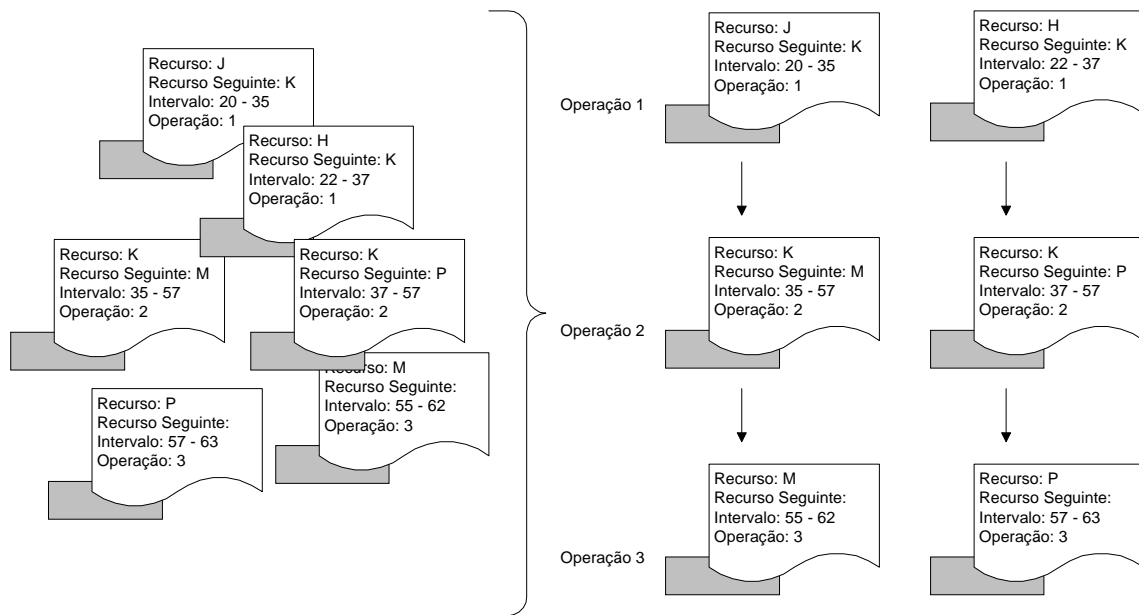


Figura 48 – Organização lógica dos intervalos na Tarefa

4.3.3.3 Optimizações

É impossível quantificar matematicamente a forma como evoluiu o número de intervalos de tempo a processar pelos recursos ao longo do processo, pois isso não depende do processo de escalonamento em si mas das agendas dos recursos, dos limites temporais e das operações a realizar, ou seja, factores dinâmicos e externos ao processo.

Percebe-se intuitivamente que este tipo de abordagem poderá conduzir ao aumento substancial do número de intervalos de tempo processados, o que diminui o desempenho do sistema nas várias fases.

4.3.3.3.1 Classificação dos Intervalos

Imagine-se que determinada empresa lança um pedido de execução de tarefas às sua parceiras de negócio. Estas, conhecendo o plano de processo devem coordenar-se entre si de forma a

sugerir à empresa requisitante os tempos e custos associados. Seriam estes tempos e custos³⁵ que iriam condicionar a escolha da empresa. É baseado nesta observação que se pretende desenvolver uma solução para a questão levantada. Ou seja, o objectivo é continuar a processar todos os intervalos possíveis, diminuindo a extensão da fase de escolha sem recorrer a heurísticas, mas sim a factores económicos quantificáveis.

Para isso sugere-se que se altere o método de forma a que o Recurso participe activamente na classificação do intervalo que sugere. Ou seja, atribui-se ao Recurso a incumbência de definir um custo associado às suas actividades em cada intervalo. Este tipo de classificação, que para agora se considera ser apenas um valor numérico, poderá vir no futuro a incluir outros elementos como qualidade, grau de satisfação, bónus, etc.

Assim, as alterações iniciam-se no momento em que o último Recurso inicia a fase de influência inversa. Nessa altura, o Recurso deve associar a cada intervalo um custo de realização da operação e enviá-lo à Tarefa que o utilizará na fase de escolha.

Contudo, esta informação não é suficientemente abrangente no sentido de informar a Tarefa acerca da viabilidade da sequência de intervalos a que pertence, pois o intervalo pode ter um custo muito baixo individualmente, mas a sequência onde está incluído ter um custo muito alto, e vice-versa. Torna-se portanto necessário que o intervalo além de informação acerca de si próprio, inclua informação abrangente acerca da sequência de intervalos.

Para isso, propõe-se a utilização do princípio de negociação por propagação de restrições, sendo que a restrição neste caso é o custo associado à realização da Tarefa.

Assim, deverá ser associada ao intervalo, informação acerca do custo da sequência onde está inserido, sendo o Recurso responsável pela sua definição³⁶. O Recurso deverá adicionar ao custo total da sequência o custo da sua execução, que será depois utilizado pelos Recursos anteriores para o mesmo efeito (Figura 49).

Note-se que os Recursos não terão necessidade de saber qual o custo associado a cada intervalo nos outros Recursos, pelo que esse valor não é transferido entre Recursos.

³⁵ É verdade que nem sempre as decisões são tomadas baseadas apenas em factores económicos ou facilmente quantificáveis, como os custos financeiros, a qualidade ou prazos de entrega. É vulgar as decisões serem tomadas baseadas em factores políticos. No entanto, o sistema de escalonamento deverá permitir alterações de agendas e distribuição de operações, pelo que será aí a altura ideal para que essas decisões sejam tomadas, sendo no entanto aconselhável que nesta fase inicial o sistema se baseie em factores objectivos e quantificáveis.

³⁶ A forma como este valor é calculado não faz parte do âmbito deste trabalho, pelo que considera-se para todos os efeitos que esse valor já existe calculado.

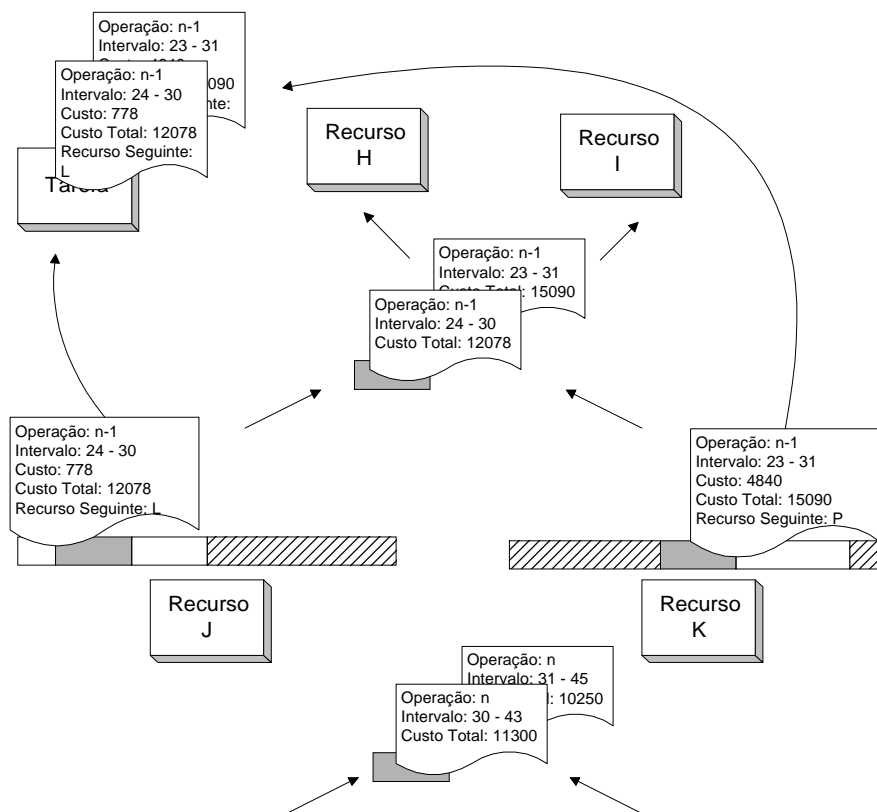


Figura 49 – Propagação de custos na sequência de intervalos

Tal como anteriormente, também agora a informação respeitante ao intervalo é passada à Tarefa, que a utilizará na escolha da sequência, sendo de salientar a facilidade de escolha baseada nos custos globais da sequência.

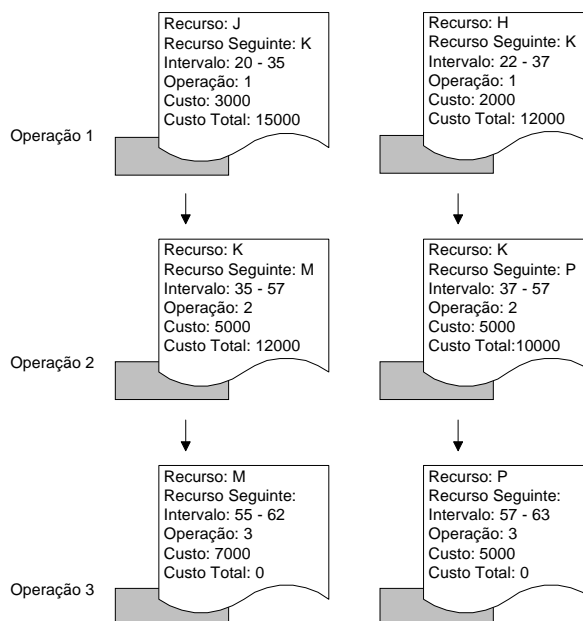


Figura 50 – Escolha da sequência de intervalos baseada em custos

4.3.3.3.2 Simplificação de Intervalos

Continuando com tentativas de optimização, constata-se que estas alterações não afectaram nem positivamente nem negativamente, a fase de influência directa. Assim, o Recurso continua a ter que processar todos os intervalos sugeridos anteriormente. Mas será que é necessário processar todos os intervalos sugeridos pelos Recursos anteriores?

A resposta é: todos os intervalos distintos. Isto significa que, no caso do mesmo intervalo ser sugerido várias vezes basta processá-lo uma vez, pois a disponibilidade do Recurso será a mesma independentemente dos Recursos que os sugeriram.

Este princípio é também válido para a fase de influência inversa, desde que os custos totais das sequências a que os intervalos sugeridos pertencem tenham o mesmo valor. No entanto, porque o intervalo deverá incluir indicação de qual o Recurso seguinte, a adopção deste princípio alterará o processo da fase de escolha, pois passariam a existir opções dentro da mesma sequência de intervalos, o que implica que se tenham que realizar novas escolhas.

Isto resolver-se-ia parcialmente se fosse acrescentado uma fase de sequencialização antes da fase de escolha, que teria a incumbência de gerar as sequências de todas as sequências compostas (Figura 51). No entanto, esta situação mantém o problema de qual das sequências se deve optar, pois o custo da sequência é o mesmo, devendo portanto ser adoptados outros métodos de decisão.

Como esta fase do sistema já abrange o domínio dos sistemas de apoio à decisão, decidiu-se pela não aplicação desta simplificação na fase de influência inversa, limitando-se à fase de influência directa.

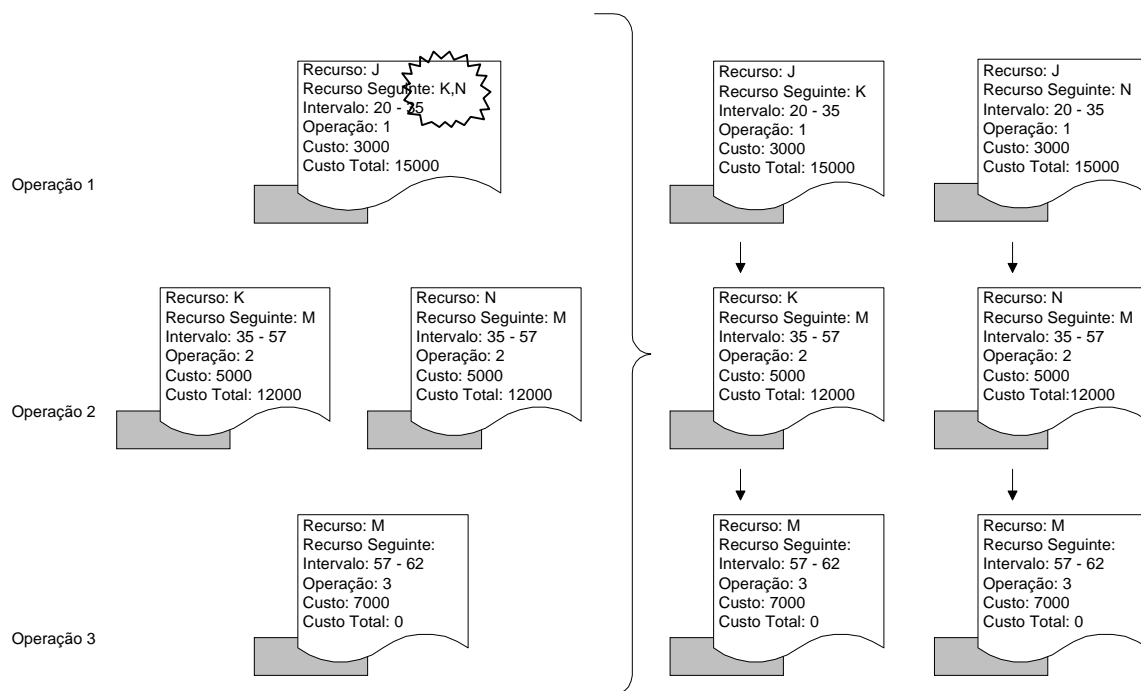


Figura 51 – Fase de sequencialização

4.3.3.4 Adaptação do Método a Planos com Operações Paralelas

A paralelização de operações no plano levanta alguns problemas que sugerem algumas considerações.

4.3.3.4.1 Cálculo dos Intervalos

Uma das vantagens do método proposto é a não utilização de comportamentos predefinidos pelo processo de fabrico, o que permite a cada Recurso ter liberdade de definição da duração de execução, ao contrário do que acontece no método original que é previamente definido.

Um dos problemas que se coloca ao método no caso de operações paralelas é o facto de se estar a trabalhar com *buffers* de tamanho zero, o que implica que a operação se inicie imediatamente depois das precedentes terminarem. Ora, esta situação pressupõe sincronização de tempos, o que não é possível sempre que a duração das operações seja diferente, pois não se podem iniciar e terminar simultaneamente, forçando portanto à existência de *buffers* nos recursos adjacentes ou no recurso responsável pela operação com menor duração.

Na Figura 52-a apresenta-se um plano de fabrico com duas operações que podem ocorrer em paralelo, Op.2 e Op. 3. Ora, essas operações não têm a mesma duração (Op.2 tem menor duração), o que implica que não possa iniciar e terminar simultaneamente com a operação paralela (Figura 52-b). Assim, torna-se necessário a existência de *buffers*, que neste caso tanto podem existir no recurso da Op.1 (*buffer* saída), da Op.2. (entrada ou saída) ou Op. 4 (entrada).

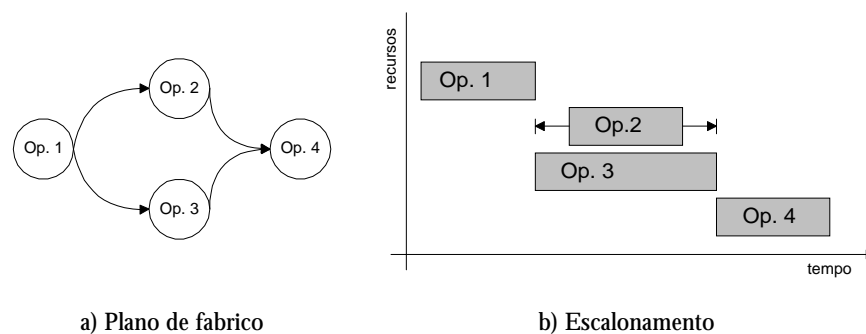


Figura 52 – Escalonamento de operações paralelas

Neste trabalho, o problema relacionado com os *buffers* não foi tratado, o que implica que não haja qualquer controlo nestas circunstâncias. O único controlo realizado prende-se com a precedência das operações precedidas. Ou seja, a operação precedida apenas se pode iniciar quando todas as operações precedentes terminarem pelo menos um produto da ordem de fabrico. No exemplo da Figura 52, a Op.4 apenas se pode iniciar depois de Op.2 e Op.3 terminarem. Neste caso Op.3 condiciona a situação devido ao facto de ter duração superior e ambas terem a mesma precedência.

4.3.3.4.2 Classificação de Intervalos

A noção com que se fica da descrição realizada anteriormente é de que o valor do custo da sequência é um valor aproximado do custo real do fabrico, o que pode não ser verdade.

No sistema implementado, e no sentido de se continuar a ter um valor global da sequência de intervalos independentemente do paralelismo, optou-se pela simples adição de custos à medida que se “subia” no processo, o que faz por vezes com que o custo da operação seja contabilizado várias vezes. Por exemplo, na Figura 53, onde os valores entre parênteses correspondem ao custo individual e os valores dentro do quadrado ao custo total da sequência, o custo total das operações é 84, enquanto o valor total da sequência de intervalos é 143. Facilmente se constata este facto nas operações 11 e 12, que contabilizam ambas o custo da operação 13. Esta situação não provoca qualquer problema na fase de escolha da sequência.

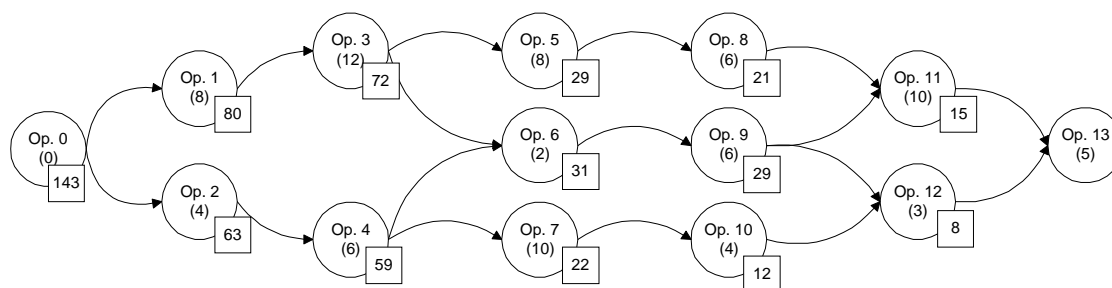


Figura 53 – Propagação de custos em planos com operações paralelas

4.3.3.5 Gestão de Conflitos e Prioridades

A situação mais típica em que ocorrem conflitos é no decorrer da negociação, em que duas Tarefas negociam o mesmo intervalo de tempo.

Esta situação cria ambiguidade nas decisões, pois não há a certeza se estando a ser negociado por determinada Tarefa o intervalo possa ou não ser sugerido a outra Tarefa. Por um lado, se for sugerido e a primeira Tarefa o escolher, então terá de ser anulado na outra. Se não for sugerido e a primeira Tarefa o recusar, poder-se-á ter perdido uma oportunidade de negócio.

No sentido de obviar estes conflitos foi adaptado o método sugerido em [Ramos, 96]. Nesse método define-se uma entidade responsável pela coordenação das várias Tarefas, o Gestor de Tarefas. Esta entidade é responsável pelo acompanhamento das negociações das Tarefas e Recursos, mantendo informação acerca dos seus processos de escalonamento, nomeadamente os limites temporais inferior e superior em que estão a negociar.

O Gestor de Tarefa é quem determina o momento em que a Tarefa pode iniciar as conversações de escalonamento, pelo que garante que os Recursos a contactar não estão naquele momento a negociar no intervalo temporal da Tarefa em causa. Esta abordagem elimina a ambiguidade descrita, porquanto o Recurso nunca poderá ver-se confrontado com a situação descrita.

Esta actividade não pode ser realizada ao nível da Tarefa, pois existem várias Tarefas simultaneamente no sistema, e nesse sentido dar-se-iam competições que resultariam em

conflitos e *deadlock's* operacionais. Esta situação seria parcialmente solucionada se a cada Tarefa fosse associado um valor de prioridade, que definiria a sequência de escalonamento dum grupo de Tarefas.

Poder-se-á pensar que pelo facto de se adoptar uma solução centralizadora o sistema perde qualidades holónicas, o que não é verdade. Repare-se que o conceito holónico advoga a necessidade de existência de hierarquia não para controlar mas sim para coordenar, que é precisamente essa a função do Gestor de Tarefas.

Esta questão só será inteiramente resolvida quando o Gestor de Tarefas fizer o acompanhamento dum Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que definirá em última instância as prioridades e ordem de escalonamento.

4.3.3.6 Conversações

As conversações existentes entre os vários holons intervenientes do processo de escalonamento destinam-se a cumprir as interacções descritas aquando do método proposto. A Figura 54 representa as várias conversações existentes entre as diversas entidades.

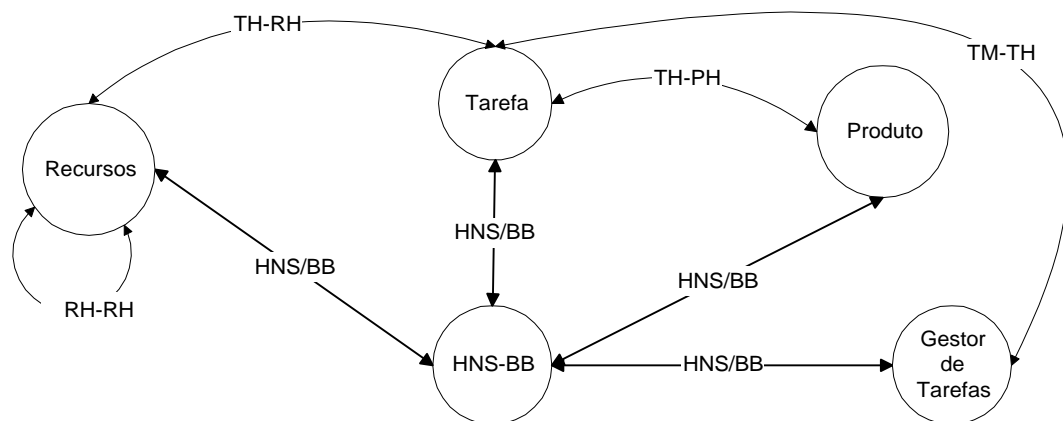


Figura 54 – Representação genérica de conversações no escalonamento

As conversações entre as Tarefas e os Recursos dizem respeito ao processo de escalonamento. O método proposto apresenta quatro fases distintas:

- Fase de Requisição;
- Fase de Influência Directa;
- Fase de Influência Inversa;
- Fase de Escolha.

É baseado nestas fases que se descreverá as conversações entre os diversos holons.

4.3.3.6.1 Fase de Requisição

Embora nada tenha a ver com o processo de escalonamento, inclui-se nesta fase as conversações existentes entre a Tarefa e o Gestor de Tarefas, uma vez que é a partir destas conversações que se iniciará o processo.

Na implementação realizada, o Gestor (de Tarefas) é a entidade que realiza a interface com o ser humano. Neste momento, a interface limita-se à recepção de novas tarefas, que o Gestor se encarregará de criar e fazer progredir no processo de produção. O processo inicia-se quando chega uma nova tarefa ao sistema, ao que o Gestor responde com a criação dum novo holon Tarefa.

A Tarefa por sua vez requisitará ao holon Produto (correspondente ao tipo de produto que irá fabricar), informação acerca do plano de fabrico.

De seguida a Tarefa pesquisa o sistema à procura de Recursos que realizem as operações necessárias à execução do produto. Para isso requisita ao Sistema de Informação (BB) uma lista de Recursos capazes de realizar cada uma das operações do plano de fabrico que o Produto lhe especificou.

Quando receber uma lista referente a cada uma das operações, informa o Gestor de Tarefas dos holon com que pretende negociar, indicando também os limites temporais, após o que se mantém à espera da luz verde do Gestor, para que possa iniciar o processo de escalonamento.

Se qualquer das listas de recursos estiver vazia, o que significa que não há recursos capazes de realizar a operação, então a Tarefa pede um novo plano de fabrico ao Produto informando-o de quais as operações que não mereceram resposta. É da competência do Produto a relaxação dos requisitos impostos às operações que não obtiveram resposta, para que se torne possível a sua execução. Este processo pode repetir-se várias vezes até que não existam mais planos de produção possíveis ou não seja possível continuar a relaxação de requisitos. Se isso acontecer a Tarefa informa o Gestor de Tarefas para que solucione o problema.

A Figura 55 representa o processo descrito.

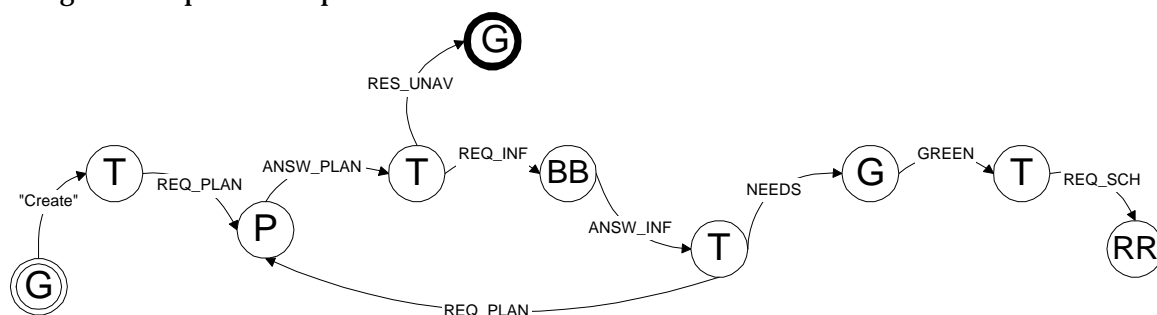


Figura 55 – Conversações entre holons na fase de requisição

4.3.3.6.2 Fase de Influência Directa

As conversações nesta fase dão-se apenas entre os vários Recursos a negociar as várias operações.

Os Recursos associados às primeiras operações do plano, iniciam esta fase calculando os intervalos de tempo nos quais pode realizar a operação, tendo em consideração os limites temporais impostos pela tarefa na fase de requisição. Depois disso envia a lista de intervalos calculados a todos os Recursos associados às operações seguintes.

Estes por sua vez esperarão pelas listas de todos os Recursos associados a todas as operações precedentes. O Recurso tem conhecimento dos Recursos associados a cada operação porque lhe foi informado pela Tarefa na fase de requisição.

Cada recurso calculará então os intervalos em que poderá realizar a operação, considerando os limites temporais impostos bem como os intervalos sugeridos para as diversas operações precedentes.

O Recurso deverá enviar a sua lista de intervalos a todos os Recursos associados às operações precedidas pela sua, que realizarão o mesmo procedimento.

Este processo realizar-se-á até que a operação em causa não tenha precedidas, sendo nessa altura iniciada a fase de influência inversa.

4.3.3.6.3 Fase de Influência Inversa

A fase de influência inversa inicia-se com os Recursos associados às últimas operações do plano. Estes devem calcular o custo associado à realização da operação em cada um dos intervalos possíveis, e enviar essa informação de volta aos Recursos associados às operações precedentes.

Simultaneamente, os Recursos devem enviar à Tarefa toda a informação referente ao intervalo (Figura 49).

Os Recursos associados à realização das tarefas precedentes deverão ajustar os intervalos anteriormente sugeridos bem como recalculer o custo total associado à sequência a que pertence. Neste ponto de evolução, o cálculo é apenas a adição dos custos das operações anteriores com o custo da própria operação no intervalo.

O processo repete-se até que a operação à qual o Recurso está associado não tenha precedentes.

4.3.3.6.4 Fase de Escolha

Esta fase inicia-se quando a Tarefa tiver recebido a lista de intervalos de todos os Recursos associados a todas as operações do plano.

A Tarefa inicia então a escolha da sequência de intervalos que será utilizada. Na implementação realizada, a escolha recai sobre aquela que tiver o menor custo total.

Há ainda que ajustar a sequência às folgas contidas pelos intervalos sugeridos. Na implementação realizada optou-se pelo ajustamento à direita, ou seja, segundo a filosofia *just-in-time*.

Depois de efectuada a escolha, os Recursos devem ser informados, quer sejam os rejeitados quer sejam os escolhidos.

O Gestor de Tarefas também é informado de que terminou o processo, o que lhe permite disponibilizar os Recursos para outras Tarefas.

4.3.3.6.5 Gestão de Time-out's

Uma questão interessante que se coloca a este processo tem a ver com os tempos que cada recurso deve esperar pelas mensagens dos recursos anteriores ou seguintes dependendo da fase de influência.

A questão coloca-se devido à ocorrência de problemas com os recursos que devem passar os intervalos a outros recursos. Se isso acontecer quanto tempo deve o recurso ficar espera? Eternamente? Um determinado tempo? Quanto?

O Recurso não pode esperar eternamente, pelo que será razoável estipular um tempo de espera, a seguir ao qual o Recurso continuará o processo com os intervalos disponíveis. Partindo do princípio de que todos os Recursos são requisitados simultaneamente, então o tempo de espera termina para todos os Recursos ao mesmo tempo. Assim, quando o Recurso terminar o cálculo de influência dos seus intervalos e enviar os intervalos para os Recursos seguintes, também já estes esperam o tal período de tempo e continuarão o processo sem os intervalos em falta. A Figura 56 representa esta situação. O Recurso 3 deve esperar por duas listas de intervalos, uma do Recurso 1 outra do Recurso 2. No entanto, até ao limite do tempo de espera apenas recebeu a lista do Recurso 1. Entretanto, na mesma altura, o Recurso 4 também não recebeu a lista de intervalos do Recurso 3. Ambos continuam o processo nesse momento, mas de nada serve ao Recurso 3 pois o Recurso 4 não utilizará o seus intervalos. O mesmo acontecerá ao Recurso 4, pois os recursos seguintes também já terão continuado o processamento.

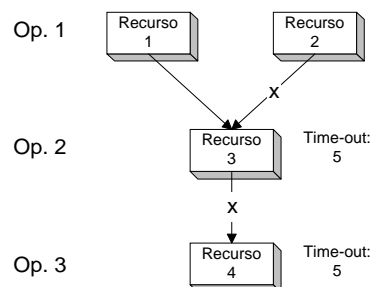


Figura 56 – *Time-outs* iguais e simultâneos

Para que isso funcione é necessário que os tempos de espera cresçam proporcionalmente ao número de operações anteriores. Na Figura 57 representa-se a mesma situação que na Figura

56 excepto no que se refere aos valores dos períodos de espera. Quando o Recurso 3 termina a espera, o Recurso 4 ainda deve continuar, pelo que o Recurso 3 tem tempo para calcular os seus intervalos e transmiti-los ao Recurso 4.

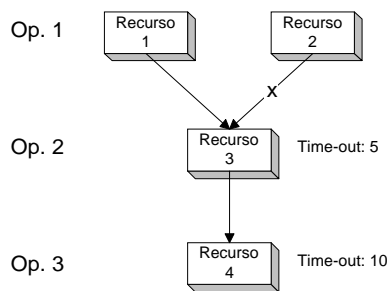


Figura 57 – *Time-out's* progressivamente maiores

No entanto a utilização de *time-out's* progressivamente maiores traz inconvenientes graves no desempenho do sistema, porquanto se pode atingir tempo de espera elevados.

4.3.3.6.6 Assincronismo nas Conversações

Esta situação já foi anteriormente relatada (4.2.4.2.3) como provocando grandes embaraços à gestão da conversação. Neste processo o assincronismo ocorre quando chegam ao Recurso os intervalos sugeridos pelos Recursos anteriores, sem que tenha ainda chegado o pedido de escalonamento.

Esta situação é perfeitamente normal que aconteça, pois a Tarefa transmite o pedido para um Recurso que o executa imediatamente, enquanto a Tarefa poderá ter ainda vários Recursos para anunciar.

Esta situação tem de ser resolvida ao nível da aplicação fazendo-se uma cuidada gestão de mensagens e intervalos, o que nunca é prático e nem sempre é fácil.

4.3.3.6.7 Resumo sobre Conversações

Não foi possível nesta secção ilustrar as diversas conversações, fundamentalmente devido ao facto do processo não ser linear. Isto é, existe paralelismo nas transmissões de mensagens, o que não é representável pelos formalismos que se têm vindo a utilizar.

No entanto, as descrições realizadas e a prévia descrição do método permitem que se tenha uma noção geral das conversações e mensagens associadas ao processo.

4.3.4 Conclusões sobre Escalonamento

Descreveu-se nesta secção as várias fases porque passou a implementação do sistema de escalonamento. Iniciou-se a secção descrevendo os métodos que serviram de base ao método proposto. Este método tenta suprir alguns pontos dos métodos originais nomeadamente no que se refere à diminuição de mensagens transmitidas, intervalos processados e à diminuição da complexidade na fase de escolha.

Existem contudo alguns problemas no que respeita ao método quando aplicado a processos com operações paralelas. Nesses casos, o sistema pressupõe que os *buffers* entre recursos são ilimitados.

4.4 Conclusões

Os assuntos tratados neste capítulo relacionam-se com a especificação e desenvolvimento do sistema de produção de exemplo, previsto nos objectivos do trabalho.

Iniciou-se o capítulo descrevendo a arquitectura do sistema a implementar, definindo a informação, entidades, funcionalidades, competências e interligação entre estas. Para isso adoptou-se a metodologia sugerida por diversas arquitecturas de referência, e que consiste na análise e descrição do sistema segundo diversos pontos de vista, e que neste caso particular se optou por duas vistas, informacional e funcional.

Considerando a arquitectura descrita e o conceito organizacional a ser utilizado, constatarem-se várias necessidades estruturais de implementação do sistema, nomeadamente no que se refere a mecanismos de comunicação, informação e segurança. Analisaram-se e descreveram-se o requisitos, os quais foram posteriormente comparados com as funcionalidades disponibilizadas pela infra-estrutura utilizada, o HFW. Constataram-se algumas limitações na infra-estrutura, o que conduziu à necessidade de especificação de serviços de sistema e o seu posterior desenvolvimento ao nível da aplicação. Os sistemas desenvolvidos foram o serviço de identificação e de informação os quais se descreveram pormenorizadamente, os quais são constituídos por várias entidades coordenativas, cooperantes, complementares e mutuamente substituíveis, formando um serviço fiável e eficiente, dando certas garantias de coerência, segurança e desempenho.

Durante o seu desenvolvimento, surgiu o conceito de domínio, o qual define agrupamentos de holons com elementos comuns, dos quais o sistema de informação é obrigatório. Este conceito fornece funcionalidades semelhantes àquelas preconizadas pelo conceito holónico.

Descreveu-se finalmente o sistema de escalonamento implementado, incluindo a caracterização pormenorizada do papel de cada entidade interveniente no processo: recursos, produtos e tarefas.

O método adoptado é derivado dum outro, originalmente desenvolvido para sistemas centralizados, em que cada operação é realizável por um único recurso produtivo. Esta limitação não faz sentido no sistema a implementar, no entanto a eliminação desta restrição torna o problema sujeito a explosão combinatória, pelo que foi necessário alterar e desenvolver o processo, o que incluiu a adaptação de negociação por propagação de restrições.

Ainda no que respeita ao método, ficam por resolver as situações de escalonamento de planos com operações em paralelo, pois não está a ser tida em consideração a gestão de *buffers* dos recursos.

Durante a implementação foram sendo referidas algumas limitações e futuras evoluções deste sistema das quais a mais importante e mais condicionante do trabalho realizado é a adopção da tecnologia de objectos distribuídos. A questão dos *time-outs* e do assincronismo nas mensagens da conversação são questões para as quais não existem ainda soluções esboçadas, sendo a sua resolução fundamental para a sistematização do desenvolvimento e adopção de conversações genéricas e conversações compostas.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

"O homem moderno é um viajante que esquece o nome do lugar do seu destino, e que há-de voltar ao lugar de onde vem para saber para onde vai."

Pretendia-se com este trabalho abordar os aspectos inovadores que se encontram actualmente a emergir nos sistemas de produção, nomeadamente as Empresas Virtuais e os Sistemas Holónicos de Produção. Pressupõe-se o desenvolvimento dum pequeno sistema de produção que servirá não só para a realização de experiências e testes de aplicação de métodos e tecnologia relacionada, como também para validar a aplicabilidade do conceito holónico a sistemas industriais do futuro.

Iniciou-se o trabalho pelo levantamento das necessidades e tendências evolutivas das empresas em geral e dos sistemas de produção em especial. Constataram-se alterações substanciais na forma de abordar o mercado, de produzir e comercializar. A complexidade tecnológica, variabilidade de produtos, expansão das redes de fornecimento, questões sociais e ecológicas, são algumas das condicionantes que a empresa terá de dominar daqui em diante.

Estes elementos motivam não só alterações estratégicas mas também alterações tecnológicas ao nível organizativo e tecnológico da produção. Os sistemas tecnológicos baseados em conceitos centralizadores, rígidos, hierárquicos e orientados para a optimização de processos e

operação não serão aplicáveis nos sistemas produtivos futuros. Pelo contrário, tendo necessidade de reagir rápida e qualitativamente às exigências do mercado, deixará de ser possível à empresa isolada o domínio de todo o processo produtivo, o que a leva a recorrer a fornecimentos externos e a optar por parcerias estratégicas com vista à resposta a oportunidades pontuais e passageiras.

As tendências evolutivas conduzem portanto a empresas cada vez mais comunicativas e interactivas com as suas parceiras de negócio, coordenando cooperativamente as suas actividades e funcionalidades no sentido de atingirem não só os seus objectivos particulares como também os objectivos globais que motivam a parceria. Serão entidades dinâmicas e altamente reactivas a oportunidades de negócio, em que a área ou domínio deixam de ser fundamentais, pois as suas capacidades e propriedades serão complementadas pelas de outras entidades na mesma situação. Esta filosofia conduz a estruturas organizativas substancialmente diferentes das actuais, em que o sistema produtivo existe distribuído por múltiplas entidades produtivas. O produto deixará de ser responsabilidade de uma única entidade, em vez disso todo o seu ciclo de vida será distribuído e negociado por diversas entidades cada uma delas com competências específicas, mas que no seu conjunto formam um todo harmonioso e capaz.

A mais valia da empresa do futuro passará pela gestão destas interligações, dos processos e das conversações entre entidades, no sentido de se atingir esse todo harmonioso e colectivamente produtivo. É necessário o desenvolvimento de conceitos organizacionais e tecnológicos que suportem estas tendências evolutivas e forneçam à empresa capacidades de adaptação e evolução.

Depois da definição das tendências evolutivas e requisitos impostos aos sistemas produtivos, descreveu-se os Sistemas de Produção baseados em Agentes. Trata-se duma abordagem baseada no conceito de agente e nas suas características fundamentais: autonomia reactividade, pró-actividade e sociabilidade. Pela combinação destas propriedades um sistema composto por agentes, denominado Sistema Multi-Agente, evidencia comportamentos potencialmente reactivos, adaptativos e coordenadamente cooperativos. Serão capazes de se orientar por objectivos globais propostos através da conjugação dos objectivos particulares de cada agente. No entanto, serão apenas potenciais comportamentos pois o conceito de agente não define estrutura ou organização, regras de gestão ou de interacção. Um Sistema Multi-Agente é tão só um conjunto de agentes relacionados e colectivamente capazes de atingir determinado objectivo. A forma ou os meios, as características ou funcionalidades não são especificadas, o que torna pouco aconselhável a sua adopção, tal é a generalidade do conceito e da sua aplicabilidade.

Pelo contrário, a arquitectura de Sistemas Holónicos de Produção, assenta em bases sólidas e comprovadas que fornecem regras, estrutura e organização específicas, derivadas e adaptadas do conceito sociológico de Kostler, o holon. O conceito de holon engloba uma duplicidade de características opostas: o todo e a parte, o conter e estar contido, subordinante e subordinado,

controlador e controlado. Qualquer comunidade é formada por partes que se agrupam e organizam no sentido do todo, sendo cada parte também um todo pois é constituída por outras partes. Outra estrutura fundamental das sociedades é o que Simon denominou de formas intermédias estáveis, que não são mais que aglomerados de componentes, organizacional e funcionalmente estáveis. Estas estruturas garantem ao sistema a estabilidade na diversidade e a funcionalidade na complexidade, fornecendo competências e tornando-se portanto num componente do sistema. A arquitectura dos Sistemas de Produção Holónicos capta a essência estrutural e organizativa destas comunidades, derivando e adaptando os conceitos sociais aos sistemas produtivos, definindo assim uma arquitectura que responde aos requisitos e necessidades definidas para os sistemas produtivos modernos.

Os Sistemas Holónicos de Produção carecem contudo de tecnologia de implementação, cujos requisitos se constata são semelhantes àqueles disponibilizados pelo conceito de Multi-Agente. Desta forma se conclui que o conceito de Sistemas Multi-Agente é um paradigma tecnológico, ao passo que o conceito de Sistema de Produção Holónico é uma arquitectura ou estrutura organizacional da tecnologia, ou seja define como a tecnologia se deve estruturar e organizar.

A parte de desenvolvimento associada a este trabalho, consistiu no desenvolvimento dum exemplo de sistema de produção holónico, particularmente um sistema de escalonamento da produção. Este sistema consiste na distribuição condicionada e organizada de ordens de fabrico pelos diversos recursos produtivos do sistema. A estrutura e funcionalidades foram adaptadas de duas propostas definidas por [Ramos, 96] e [Bongaerts, 96] e cujas entidades funcionais são os recursos, os produtos e as ordens de fabrico. Essas entidades foram modelizadas e as suas características, comportamentos e interligações funcionais descritas.

Tendo em consideração esta estrutura e as propriedades conceptuais do conceito holónico, constatou-se a necessidade dum conjunto de infra-estruturas que facilitasse e sistematizasse a implementação. Nesse sentido, definiu-se um conjunto de requisitos que se concluiu estarem para além dos disponibilizados pela infra-estrutura utilizada.

Foi portanto necessário complementar o sistema com funcionalidades e serviços estruturais, como o serviço de identificação e de informação. Estes serviços foram especificados, analisados e a sua implementação descritas. Com o desenvolvimento destes serviços foram sendo desenvolvidos mecanismos nem sempre relacionados com os seus objectivos, mas de fundamental importância num sistema de produção holónico. Um desses mecanismos foi o conceito de domínio, que permite ao holon pertencer simultaneamente a agrupamentos informacionais, funcionais ou organizacionais distintos.

Finalmente, quanto ao sistema de escalonamento da produção, descreveu-se a adaptação e desenvolvimento dum algoritmo de escalonamento desenvolvido originalmente para sistemas centralizados. O algoritmo original, apresentado em [Ramos, 95], tem por objectivo a atribuição de operações duma tarefa ao recurso associado, considerando datas limite. Devido à multiplicidade de recursos que podem realizar cada operação no sistema implementado, a

aplicação dum método idêntico conduz a explosão combinatória, pelo que foi necessário adaptar o método ao caso particular para que o conjunto de situações a tratar fosse em número razoável. Para isso fizeram-se várias alterações, sendo a mais notória a adopção do mecanismo de negociação por propagação de restrições, o que permite terminar o processo com as várias sequências possíveis já classificadas segundo determinada restrição, o que facilita grandemente a fase de escolha.

Além disso, foram analisadas e descritas pormenorizadamente as competências e conversações de cada uma das entidades intervenientes no processo.

Foram estas as principais fases do trabalho realizado. Constatase agora que grande parte do trabalho consistiu em adquirir conhecimento acerca dos conceitos envolventes numa tentativa de justificar a abordagem do conceito holónico.

Descreveu-se o paradigma tecnológico de Sistemas Baseados em Agentes para explicar e sistematizar as relações existentes entre os dois conceitos.

Uma parte substancial do trabalho consistiu em desenvolver serviços de apoio (mas fundamentais) ao funcionamento do sistema. As experiências e testes realizados não são suficientes para se retirar qualquer conclusão acerca do sistema de escalonamento implementado. Foi contudo possível das experiências realizadas, constatar a necessidade de desenvolvimento de sistemas de controlo de conversações capazes de gerir automaticamente o assincronismo das mensagens da conversação e os *time-outs*.

Devido à complexidade e quantidade de informação associadas ao processo de escalonamento, o método necessita ainda de algum trabalho de desenvolvimento de técnicas de quantificação dos valores de propagação. Além disso é necessário solucionar a questão relacionada com os *buffers* dos recursos, não apenas nos casos de escalonamento de planos de fabrico com operações paralelas mas também nos planos sequenciais.

A implementação deverá sofrer alterações consideráveis com vista à adopção da tecnologia de objectos distribuídos, contudo existe bastante trabalho e conhecimento adquirido que permitirá ter um espírito muito mais crítico e opiniões mais abrangentes.

Anexo I

Termos e Expressões

Desde o início deste trabalho que se vêm usando determinados termos e expressões contudo nem sempre o seu significado é consensual, correspondendo por vezes, em função do contexto e do interlocutor, a conceitos distintos. Não é objectivo desta secção apresentar soluções consensuais ou amplamente aceites, apenas apresentar conceitos que são utilizados no decorrer deste trabalho, tendo em consideração claro está, definições e considerações já existentes.

Mais do que uma definição ou descrição, importa por vezes comparar o termo com outro com o qual partilha semelhanças ou mal entendidos.

Sempre que possível, far-se-á uma descrição abrangente, contudo, seja pela área de aplicação do termo, pelos diferentes idiomas usados ou as diferentes percepções existentes, torna-se por vezes impossível apresentar uma definição, entendida como tal.

I.1 Agilidade e Flexibilidade

I.1.1 Agilidade

Agilidade é a capacidade que a empresa tem de se adaptar e reconfigurar interna e externamente, rápida e oportunamente no sentido de responder a alterações no contexto de negócio.

Agilidade pressupõe adaptação, capacidade de reconfiguração e potenciação dos recursos da empresa, exploração dos benefícios inerentes a alianças com empresas fornecedoras e clientes, aumentando virtualmente as suas competências e capacidades de resposta.

I.1.2 Flexibilidade

O termo Flexibilidade quando associado a sistemas de produção, caracteriza a capacidade do sistema alterar o seu funcionamento em resposta aos diferentes parâmetros de procura. A Flexibilidade corresponde à versatilidade do sistema de fabrico, à eficácia e rapidez com que se alternam as tarefas realizadas no sistema. Pressupõe além disso, que o conjunto de soluções ou alternativas de reconfiguração são limitadas e previamente definidas.

Sob um ponto de vista operacional é possível afirmar que a flexibilidade é condicionada pela interligação de dois factores:

- Características físicas do sistema físico de produção, e. g. máquinas, ferramentas, sistemas de controlo, recursos humanos;
- Planeamento de processos, nomeadamente fornecimentos, escalonamento e controlo da produção.

Embora não seja consensual, o termo flexibilidade, quando utilizado no contexto dos sistemas de produção, diz respeito apenas ao sistema de fabrico, não referindo mais nenhuma fase do ciclo de vida. Assim, flexibilidade tanto diz respeito a uma empresa isolada como a uma empresa virtual.

I.1.3 Agilidade Vs. Flexibilidade

Embora os dois termos sejam semelhantes, quando utilizados no contexto dos sistemas de produção são substancialmente diferentes. Agilidade é um conceito estratégico de organização e adaptação a um contexto de mercado não previsível, enquanto flexibilidade diz respeito à reconfiguração rápida e eficaz da planta fabril no sentido de realizar tarefas diferentes mas previstas ou definidas antecipadamente.

Resumindo, agilidade pressupõe adaptação do sistema (incluindo o sistema produtivo) a alterações de contexto imprevistas, enquanto flexibilidade pressupõe adaptação da produção a configurações predefinidas.

I.2 Autonomia

O termo autonomia, significa em português, (i) independência, (ii) regulamentação dos próprios interesses e (iii) possibilidade que uma entidade tem de estabelecer as suas próprias normas.

Segundo a definição filosófica de Kant¹, autonomia é “a liberdade da vontade racional que só obedece à lei por ela mesma legislada”.

A definição de Wooldridge e Jennings [Wooldridge, 94], do domínio da Inteligência Artificial Distribuída, defende que autonomia é “capacidade que determinada entidade tem de operar sem a intervenção externa e ter um certo controle sobre as acções e estado interno”.

Segundo o HMS, “autonomia é a capacidade duma entidade para criar e controlar a execução dos seus próprios planos e/ou estratégias”.

Embora este termo motive desde há centenas de anos complexas discussões entre filósofos e outros pensadores, tem-se assistido nos últimos anos ao seu uso indiscriminado no seio da comunidade científica Informática e em especial da Inteligência Artificial, mas contudo de uma forma mais ou menos consensual e que respeita as definições apresentadas.

Porque o âmbito específico deste trabalho são os sistemas de produção holónicos, a escolha recai sobre a definição do HMS: **“autonomia é a capacidade duma entidade para criar e controlar a execução dos seus próprios planos e/ou estratégias”**.

I.3 Arquitectura

Importa apresentar algumas considerações sobre o termo arquitectura pois este é vulgarmente utilizado com vários sentidos e interpretações, e por vezes de forma incoerente.

O termo é por vezes agrupado com outros e em função disso o seu significado varia consideravelmente. Com o objectivo de definir o termo arquitectura, é importante serem analisados outras expressões onde o termo é fundamental.

I.3.1 Arquitectura genérica

Corresponde a um conjunto muito genérico de princípios, requisitos e conceitos a que deve obedecer qualquer arquitectura de forma a que seja atendido seu objectivo de acompanhamento do sistema ao longo do seu ciclo de vida. No que respeita a arquitecturas genéricas de sistemas produtivos salienta-se o GERAM (*Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology*);

¹ Immanuel Kant [1724 - 1804], filósofo e professor universitário alemão, é considerado um dos mais influentes pensadores dos tempos modernos. A seu pensamento, por vezes apelidado de filosofia crítica, é descrito na obra *Crítica da Razão Pura* (1781), onde examina as bases do raciocínio humano e cria uma epistemologia individual.

I.3.2 Arquitectura de referência

Arquitectura de referência é uma arquitectura genérica especializada para determinado domínio e através da qual outras podem ser comparadas ou derivadas, é livre de detalhes de implementação e caracteriza-se por:

- Descrição de alto nível dos componentes do sistema;
- Definição das relações entre componentes;
- Definição das relações entre os componentes e os elementos externos ao sistema;
- Identificação de indicadores de capacidade e desempenho.

Uma definição mais elaborada considera que uma “**arquitectura de referência é um paradigma intelectual que facilita a análise e correcta discussão e especificação duma determinada área de discurso. Fornece meios de ver, conceber e falar acerca do assunto**”.

Existem variadíssimas arquitecturas de referência para sistemas produtivos e empresas genéricas, nomeadamente: PERA (*Perdue Enterprise Reference Architecture*), CIMOSA (*CIM-Open System Architecture*), GRAI-GIM (*Graphes à Resultats et Activités Interliés- GRAI Integrated Methodology*).

Contudo, estas são mais do que arquitecturas de referência, são metodologias e bases de trabalho de estudo e modelização de empresas, ou seja, *frameworks* arquitecturais (Figura 58) que mais não são que conjunto de ferramentas, métodos, modelos, regras e outros componentes que orientam e facilitam o desenvolvimento de sistemas.

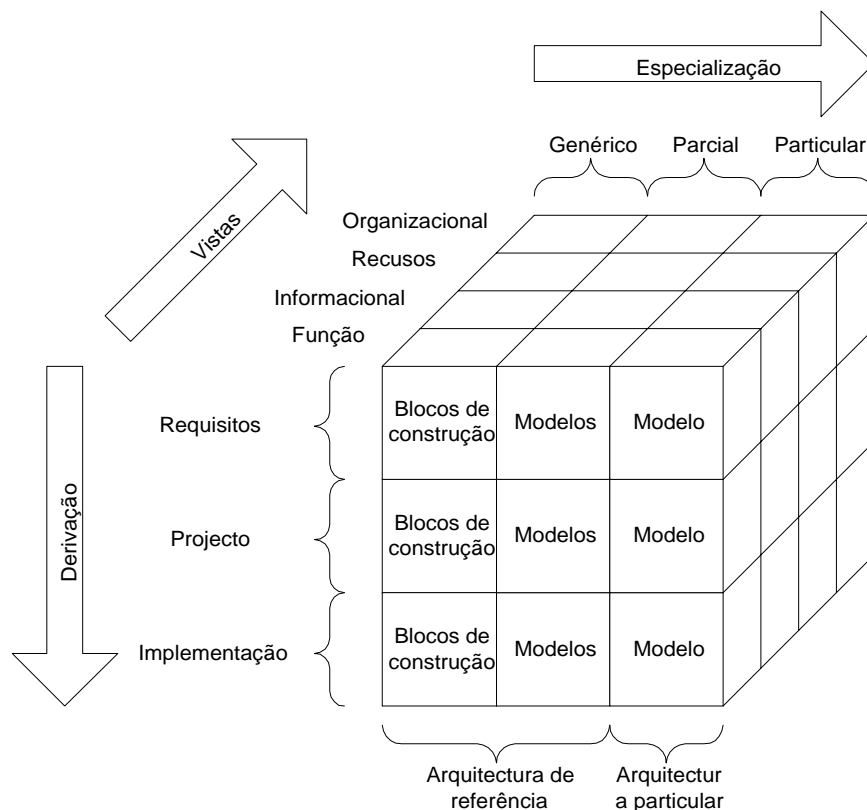


Figura 58 - Arquitectura CIMOSA ou Cubo CIMOSA [Zelm, 95]

I.3.3 Vistas

É vulgar a arquitectura de referência, ou pelo menos as ferramentas que lhe estão associadas, definirem métodos de observação e análise do sistema. Com esses objectivos é por vezes necessário focar determinados aspectos do sistema em detrimento doutros. O resultado deste processo selectivo de percepção e focagem denomina-se “vista”.

Uma vista apresenta o sistema visto por determinada perspectiva ou posição, na qual se dá especial atenção a determinados aspectos em detrimento doutros menos importantes na altura. O conjunto das várias vistas do sistema deverá ser consistente e representar efectivamente o sistema observado.

Embora o número e o domínio das vistas definidas nas arquitecturas não sejam sempre os mesmos, têm contudo bastantes semelhanças. Por exemplo, a arquitectura CIMOSA define quatro vistas (Figura 58):

- **Vista informacional**, que corresponde e representa a informação relativa a cada entidade da empresa, os fluxos de informação e relações informacional entre entidades e objectos;
- **Vista de recursos**, que corresponde e representa as capacidades produtivas da empresa, incluindo os diversos meios produtivos, as suas capacidades e formas de gestão;
- **Vista funcional**, que corresponde e representa as actividades, comportamentos e das diversas entidades;
- **Vista organizacional**, que corresponde e representa a estrutura organizacional, as competências e responsabilidades organizativas.

I.3.4 Arquitectura (Particular)

Uma arquitectura, ou mais especificamente, uma arquitectura particular, pode ser vista como uma especialização do conceito de arquitectura de referência a um caso específico, no qual se descrevam todos os aspectos relevantes para bom funcionamento do sistema. Note-se que a arquitectura particular pode ou não ser derivada a partir duma arquitectura de referência, sem que isso a torne menos correcta ou eficiente.

I.4 Ciclo de vida

O Ciclo de vida representa a sequência de fases que caracterizam a existência do objecto ou entidade a que se refere.

Estas fases incluem mas não estão limitadas à especificação, análise, definição de requisitos, projecto, planeamento de processo, implementação, teste, planeamento da produção, operação, manutenção e alteração, abandono, desmantelamento, reconversão ou reciclagem. Embora algumas destas fases sejam nalguns pontos redundantes, todas elas têm objectivos distintos e específicos, fazendo uso de regras, modelos, técnicas, métodos e ferramentas distintas.

O ciclo de vida é normalmente um processo não linear (Figura 59), pois podem ocorrer ciclos e saltos entre fases. Por isso, é comum definir o ciclo de vida como um diagrama de fluxos

onde podem ocorrer ciclos e retornos a fases já anteriormente ocorridas, e em que os estados são as diversas fases e o fluxo corresponde a informação.

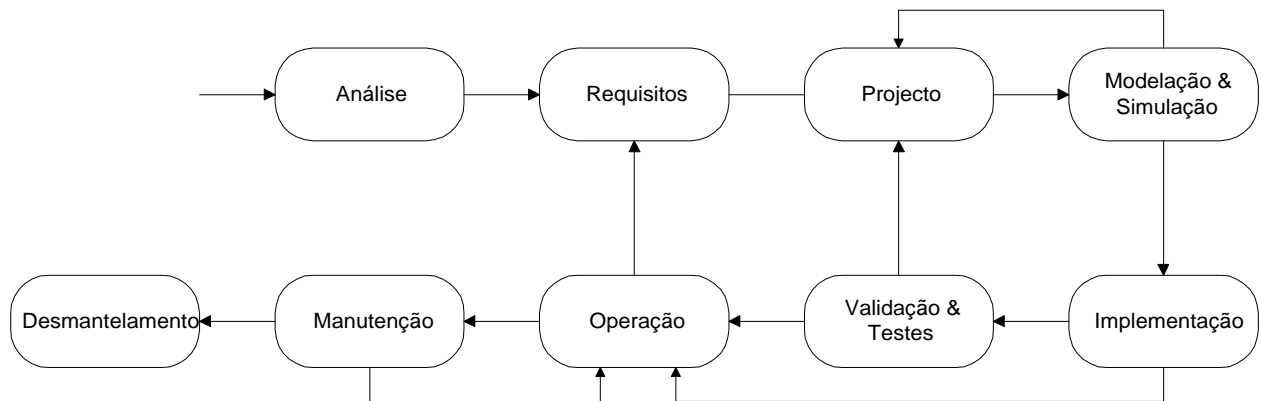


Figura 59 - Exemplo de ciclo de vida duma entidade ou objecto

I.5 Conhecimento

O termo conhecimento, tal como é usado no decorrer deste trabalho, compreende a seguinte relação: Dados → Informação → Conhecimento. O elemento mais básico de conhecimento é o dado, o qual tem apenas um valor, representado segundo uma sintaxe específica. Informação por seu turno incorpora já algum tipo de semântica e pode incorporar também comportamento (e.g. objectos), no entanto, é altamente dependente do contexto e de outros elementos. O Conhecimento está a um nível qualitativo superior ao da Informação, no qual se pressupõe significado, semântica, comportamento, pragmática e independência (de contexto, de autor, de receptor, etc.).

Com o objectivo de representar o conhecimento associado a determinado domínio ou disciplina de actuação, definem-se ontologias que mais não são do que a definição de conjuntos de informação à qual se atribui determinado significado, semântica, comportamento, pragmática e independência.

I.6 Coordenação e Cooperação

I.6.1 Coordenação

Coordenação significa em português (i) acto de organizar e (ii) disposição metódica que estabelece relação recíproca entre as coisas em que ela se exerce.

Já em inglês “*coordination*” significa: (i) ajustamento, (ii) organização e (iii) regulação.

Apesar da distinção, o termo tem nas duas línguas o sentido comum de organização e regulação o que faz pressupor entendimento e harmonização de relações mútuas entre várias entidades que realizam actividades relacionadas ou interligadas.

Assim, Coordenação é o acto de relacionar e organizar as actividades de várias entidades na persecução dum objectivo único, e que conduz à harmonização e consistência do sistema.

I.6.2 Cooperação

Cooperação significa colaboração, trabalho em equipa, interacção, solidariedade. Destes termos, importa salientar a noção de actividade, trabalho e serviço colectivo, realizado por várias entidades.

Além disso, Cooperação pressupõe a realização de actividades de livre e espontânea vontade e no sentido de atingir um objectivo ou produzir algo que convém às partes envolvidas.

Segundo o HMS, “Cooperação é um processo segundo o qual, um conjunto de entidades desenvolve e executa mutuamente planos aceitáveis”.

Refira-se porém, que o produto ou serviço final global poderá não ser o objectivo particular de cada entidade, no entanto a entidade ao participar cooperativamente na sua realização visa atingir determinado objectivo particular.

Assim, **Cooperação é a realização de tarefas colectivas entre um conjunto de entidades de forma a atingirem um objectivo que lhes convém.**

A Cooperação pode tomar várias formas. Aquelas que se apresentam de seguida poderão ser combinadas entre si gerando formas de cooperação diferentes destas:

- **Cooperação reactiva**, em que a entidade se organiza e interliga com as outras entidades duma forma predefinida e estática;
- **Cooperação deliberativa**, em que a entidade raciocina sobre o seu conhecimento para definir as suas relações no sistema;
- **Cooperação negocial**, em que as diversas entidades efectuem negociações com vista à realização de actividades;
- **Cooperação por votação**, na qual são lançados pedidos de votação sobre as actividades a realizar, que deverão ser votados pelas entidades;
- **Cooperação egoísta**, na qual a entidade considera fundamentalmente os seus objectivos;
- **Cooperação altruísta**, em que a entidade considera fundamentalmente os objectivos das outras entidades;
- **Cooperação emergente**, na qual não existem formas predefinidas de cooperação, excepto a necessidade que as entidades têm de realizar tarefas em conjunto.

Esta lista, se bem que diferente da apresentada em 3.1.3.4.3, não se invalidam mutuamente, antes se deve distinguir o contexto em que são apresentadas.

I.6.3 Coordenação Vs. Cooperação

Coordenação pressupõe organização das entidades do sistema, mas não especifica a forma de o conseguir.

A forma mais simples e mais vulgar de coordenar é através de mecanismos de comando (*master-slave*), em que determinada entidade define as relações e organização das outras entidades.

Cooperação não é mais do que uma forma de coordenação de entidades no sistema, caracterizada essencialmente pela realização colectiva de actividades e pela autonomia das entidades em definir as formas de organização e sua interligação com as outras entidades.

I.6.4 Coordenação Vs. Controlo

O termo Controlo pressupõe fiscalização, acompanhamento, verificação, superintendência, duma entidade sobre outra ou sobre si mesma. Pressupõe além disso o sentido de conduzir, guiar, orientar.

Por seu lado, Coordenação refere-se à organização e gestão de relações e actividades entre entidades do sistema.

Pode-se pois considerar que controlo é uma forma de coordenação, no sentido em que certa entidade ao exercer controlo sobre outra, determina o seu comportamento e consequentemente as suas interligações com outras entidades. Se bem que seja verdade, não é bem este o sentido que se deve dar ao termo controlo. O sistema de controlo especifica as operações a realizar, faz o acompanhamento e fiscalização das actividades, intervindo quando necessário no sentido de ajustar o funcionamento da entidade.

Pressupõe-se portanto pouca autonomia de funcionamento por parte das entidades controladas.

Coordenação, pelo contrário diz respeito à conjugação de actividades das várias entidades do sistema, pressupondo autonomia e capacidade de gestão das actividades por parte da entidade. Quando se refere que determinado sistema é coordenado por mecanismos *master-slave* significa que existe um sistema de coordenação que define as formas de interligação e organização das entidades no sistema. Estes mecanismos *master-slave* não pressupõem controlo de actividades ou acompanhamento de operação, mas sim a interligação e organização das entidades no sistema. Apesar da entidade ter certa autonomia no que respeita a funcionalidades, não é autónoma ou pelo menos completamente no que respeita às suas relações com as demais.

Duma forma resumida, as diferenças entre os dois termos caracterizam-se pelas relações seguintes:

- Controlo → Actividade;
- Coordenação → Organização.

I.7 Distribuição e Descentralização

Apresenta-se nesta secção uma pequena comparação entre os significados de Distribuição, Agrupamento, Descentralização e Centralização.

I.7.1 Distribuição e Agrupamento

Distribuição pressupõe um sistema composto por várias entidades funcionais distintas, ao contrário de agrupamento que implica a existência duma única entidade.

Imagine-se uma entidade composta por vários elementos. Se essa entidade for separada em várias, diz-se que foi distribuída. No entanto as várias entidades resultantes mantêm no seu conjunto os mesmos serviços e funcionalidades que anteriormente.

Na Figura 60 apresenta-se um sistema que executa 4 tarefas diferentes. Na Figura 60-a as tarefas são realizadas pela mesma entidade, na Figura 60-b, existem várias entidades a realizar as tarefas do sistema.

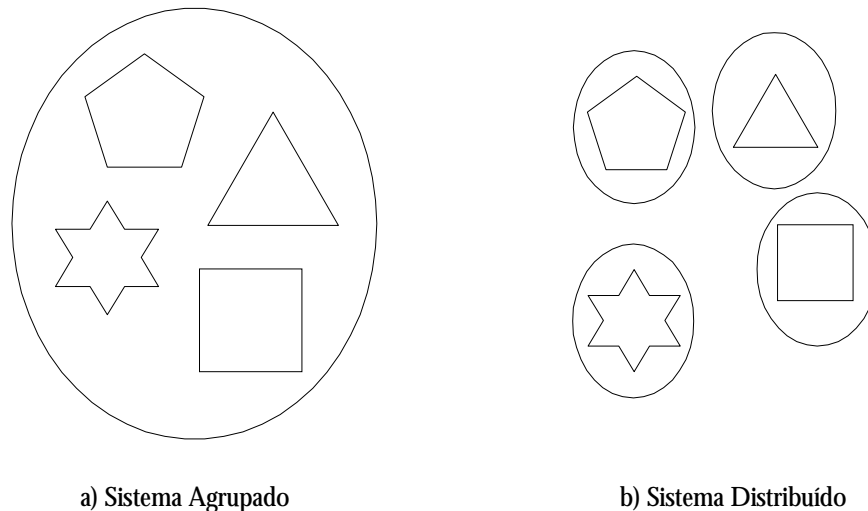


Figura 60 – Representação esquemática de sistema agrupado e distribuído

I.7.2 Descentralização e Centralização

Descentralização diz respeito a competências ou funcionalidades e pressupõe a atribuição duma mesma competência a um número substancial de entidades do sistema. Pelo contrário, considera-se que determinado sistema é centralizado em determinada actividade se existir uma única entidade responsável por essa actividade. O sistema pode simultaneamente ser centralizado numa actividade e ser descentralizado noutra. Descentralização pressupõe multiplicação de entidades com determinada competência, o que não implica forçosamente redundância ou sobreposição de competências. Poder-se-á considerar um sistema descentralizado com entidades funcionalmente complementares mas redundantes em termos de capacidades e competências e que se podem substituir mutuamente em determinadas situações.

Evidentemente, para que o sistema possa ser descentralizado tem que ser distribuído.

Por exemplo, num sistema, pode-se considerar que determinado serviço foi descentralizado se a competência, até agora centralizada numa única entidade tiver sido distribuída por várias outras.

Na Figura 61 representa-se um sistema derivado do da Figura 60. Este sistema é um sistema distribuído, simultaneamente centralizado e descentralizado. Distribuído porque existem diversas entidades a realizar as diferentes tarefas do sistema. É centralizado no que respeita à actividade ▲ porque apenas uma entidade executa tal tarefa, e descentralizado no que respeita às actividades ◆ e ■, porque um número significativo de entidades executam essas tarefas.

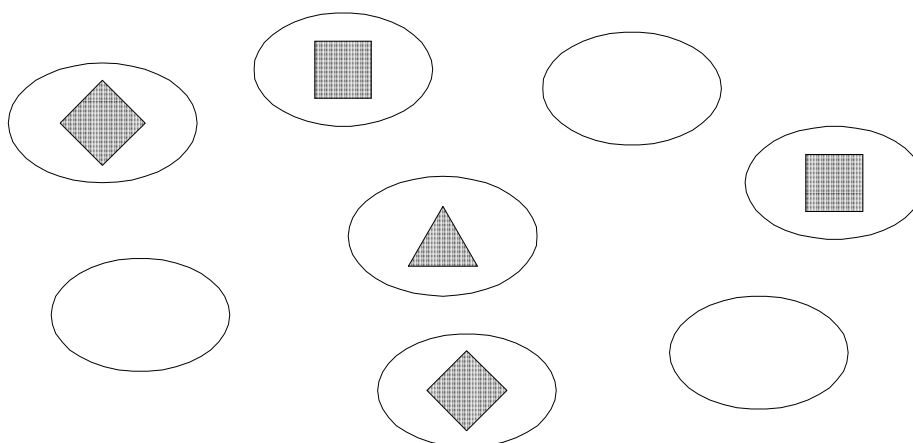


Figura 61 – Sistema simultaneamente centralizado e descentralizado

I.7.3 Distribuição Vs. Descentralização

Enquanto a distribuição apenas supõe divisão do sistema por entidades diferentes, a descentralização pressupõe a existência de múltiplas entidades com a mesma competência.

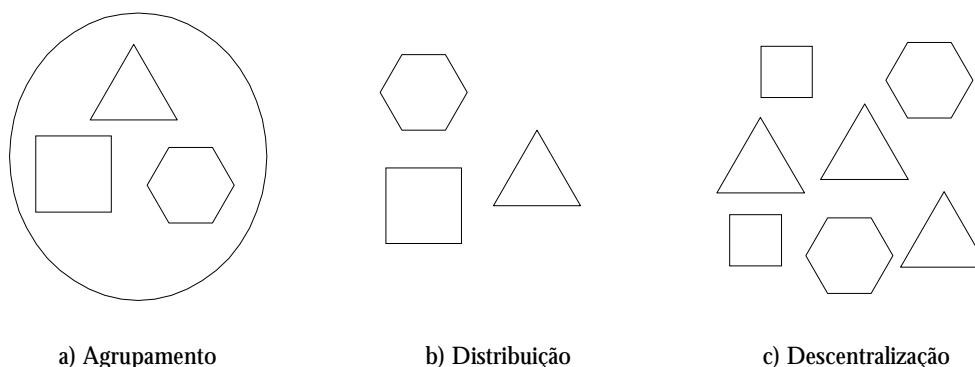


Figura 62 - Agrupamento, Distribuição e Descentralização

A Figura 62, representa determinado sistema em três estruturas distintas. Na Figura 62-a, o sistema é agrupado e centralizado. Na Figura 62-b, o sistema é distribuído e centralizado. Na

Figura 62-c, o sistema é distribuído e simultaneamente descentralizado e centralizado, dependente da competência a que se refere.

De uma forma muito resumida, Distribuição associa-se ao termo “divisão” dum conjunto de competências por várias entidades, enquanto Descentralização se associa a “multiplicação” de entidades com determinada competência.

I.7.4 Hierarquia e Heterarquia

Por vezes os termos Descentralização, Centralização e Distribuição substituem ou são substituídos erradamente pelos termos Hierarquia e Heterarquia. A Centralização é usada como sinónimo de Hierarquia enquanto Descentralização e (essencialmente) Distribuição são usados como sinónimo de Heterarquia. No entanto, têm significados e aplicações completamente diferentes. Hierarquia e Heterarquia são formas de relacionamento ou organização entre entidades. Ou seja, relacionam e criam formas de organização entre entidades, o que não acontece com nenhum dos outros termos.

É corrente a opinião de que “sistema hierárquico” é sinónimo de “sistema centralizado” e que “sistema distribuído” é sinónimo de “sistema heterárquico”, no entanto não faz qualquer sentido comparar estas dimensões. Enquanto distribuição e descentralização são propriedades estáticas da estrutura, hierarquia e heterarquia referem-se à dinâmica das entidades e do sistema.

Contudo, as três dimensões podem ser agrupadas de forma a classificar determinado sistema. Por exemplo, se ao sistema anteriormente apresentado na Figura 61, lhe for incutido algum tipo de organização, então é possível especificar um sistema classificável como Distribuído, Descentralizado em ■ e ◆, mas Centralizado em ▲, e Hierárquico, tal como apresentado na Figura 63.

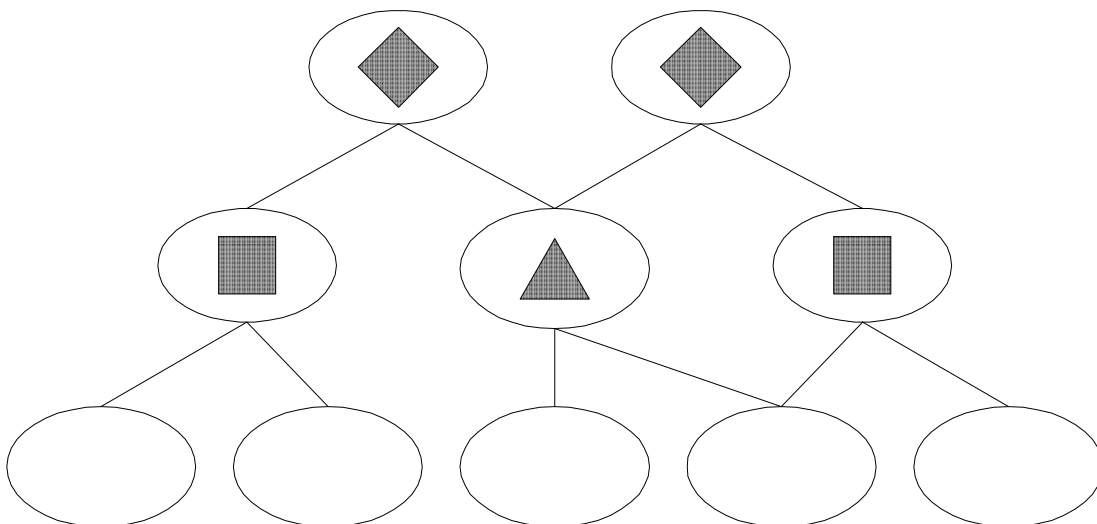


Figura 63 - Sistema Distribuído, Hierárquico, Centralizado e Descentralizado

I.8 Integração

O dicionário português define integração como: (i) inclusão, (ii) assimilação e (iii) adaptação. Já o verbo “integrar” significa: (i) tornar inteiro, (ii) incluir num todo e (iii) completar. Com o recurso ao verbo torna-se mais simples compreender ou pelo menos sistematizar o sentido do termo.

O termo em inglês, “*integration*” pressupõe (i) combinação, (ii) agrupamento, (iii) organização e (iv) consolidação de várias entidades numa única, complementando portando o significado em português.

Assim, no contexto deste trabalho, integração é a capacidade que componentes separados têm de se tornarem num todo funcional, sem qualquer limitação organizacional, tecnológica ou de conhecimento.

I.9 Framework

Conjunto de objectos relacionados que podem ser usados como fundação para resolver um problema específico. Pode ser entendido como um conjunto de blocos ou projectos genéricos que podem ser aperfeiçoados e refinados no sentido de serem usados num caso ou sistema particular.

Anexo II

Infra-estruturas

Um Sistema Multi-Agente bem como um sistema holónico é composto por elementos autónomos, comunicativos, coordenativos, cooperativos, etc..

Nesse sentido constata-se um conjunto de necessidades estruturais básicas que poderão ser generalizadas e aplicadas numa grande variedade de sistemas. Entre essas necessidades incluem-se as seguintes:

- Mecanismos de comunicação:
 - ◆ Ponto a ponto, em Grupo e *Broadcast*;
 - ◆ Serviços de Identificação, Autenticação e Registo;
 - ◆ Segurança nas transações e garantia de sigilo;
- Mecanismos de Conversações:
 - ◆ Linguagem genérica;
 - ◆ Ferramentas de construção e teste;
 - ◆ Modelos especializáveis;

- Definição de funcionalidades:
 - ◆ Procedimental;
 - ◆ Declarativa;
- Gestão da Informação:
 - ◆ Segurança;
 - ◆ Publicação via *Blackboard*, *Broadcast* e *Directa*;
 - ◆ Linguagem de interrogação independente;

No decorrer do trabalho de implementação foram analisadas várias infra-estruturas de desenvolvimento de sistemas baseados em agentes. Na grande maioria, estas infra-estruturas foram desenvolvidas nos últimos dois anos em instituições académicas, no entanto existem outras de domínio comercial e privado, como o Voyager, o Agent Builder, o Odyssey.

Apresentam-se de seguida três infra-estruturas, duas das quais desenvolvidas em universidades e outra desenvolvida para uso privado:

- A infra-estrutura JAFMAS (*Java-based Agent Framework for Multi-Agent Systems*) foi desenvolvido por Deepika Chauhan no âmbito da sua tese de doutoramento na Universidade de Cincinnati.
- Por sua vez o JATLite (*Java Agent Template, Lite*) é a infra-estrutura resultante da pesquisa da Universidade de Stanford em ambientes baseados em agentes.
- KAOs (*Knowledgeable Agent-oriented System*) é um produto desenvolvido pela Boeing Information and Support Services, sob a supervisão de Jeffrey Bradshaw.

As infra-estruturas JATLite e JAFMAS são ambos produtos académicos e o seu uso é gratuito, enquanto o KAOs foi recentemente tornado público, e praticamente sem limitações de utilização. Os três são desenvolvidos em linguagem JAVA, (aliás como grande parte das infra-estruturas semelhantes) da qual retiram e herdam grande parte dos conceitos e mecanismos que fornecem às aplicações em termos de comunicações.

A Tabela 5 resume as características mais importantes, tendo em consideração os requisitos apresentados anteriormente.

A infra-estrutura JATLite é um conjunto de classes que foca os seus objectivos na segurança e fiabilidade das comunicações. Caracteriza-se por:

- Modularização. Ou seja, a separação de funcionalidades por níveis e classes. A construção do sistema fica assim facilitada pela inclusão ou omissão de módulos em função das necessidades particulares do sistema;
- Disponibilização de classes de implementação de mecanismos de comunicação e interacção básicos mas fundamentais:
 - ◆ Serviço de identificação, autenticação e registo;

- ◆ Serviço de encaminhamento, que é particularmente importante pois é através dele que os agentes enviam e recebem as mensagens;
- ◆ Serviço de *Pooling* e filas de mensagens;
- Disponibilização de classes que implementam conversações baseadas em KQML.

	JAFMAS	JATLite	KAoS
Comunicação em grupo	Sim	Não	Sim
<i>Routing & Pooling</i>	Não	Sim	Sim
Identificação	Sim	Sim	Sim
Autenticação	Sim	Sim	Sim
Serviço de Nomes	Sim	Sim	Sim
Segurança	Java RMI	Sim	CORBA
<i>Blackboard</i>	Subscrição	Sim	Aplicação
Definição de Objectivos	Aplicação	Aplicação	Sim
Coerência nas Conversações	Baseado no COOL	Não	Modelos e Conjuntos
Linguagem de Conversação	Genérica	KQML	Meta-primitivas
Focus	Coerência na Coordenação	Fiabilidade da rede	Muito Completo

Tabela 5 – Resumo das características das infra-estruturas de desenvolvimento

Mais do que uma infra-estrutura de desenvolvimento, a JAFMAS pretende ser uma metodologia de desenvolvimento de sistemas baseados em agentes, daí que os seus autores definam regras e princípios de desenvolvimento:

- Identificação dos Agentes;
- Definição de conversações;
- Regras associadas às conversações definidas;
- Coerência das conversações;
- Implementação.

Constata-se a especial atenção que a metodologia dá às interacções e coordenação entre agentes.

Em termos de infra-estrutura propriamente dita, esta dá especial atenção aos seguintes elementos:

- Comunicações, embora os mecanismos disponibilizados sejam bastante simples, o uso de base da tecnologia RMI garante segurança nas comunicações e na gestão da informação;
- Interações baseadas em *speech-acts*, o que permite a implementação de conversações genéricas de alto nível,
- Coordenação e cooperação, pela disponibilização de classes de conversações.

As características fundamentais que fazem do KAoS a infra-estrutura mais completa das apresentadas, são:

- Uso de tecnologia de objectos distribuídos (CORBA), que garante segurança ao sistema de informação nas interações entre agentes;
- Uso de modelos de conversações, que são sequências predefinidas de mensagens transmitidas entre os vários intervenientes na conversação e fornece mecanismos que facilitam o desenvolvimento rápido, eficiente e coerente de sistemas baseados em agentes sociáveis. Além dos modelos de conversação especializáveis, a infra-estrutura fornece conjuntos (*suites*) de conversações, que são agrupamentos de conversações criados e utilizado com um objectivo específico. Um exemplo de *suite* é o conjunto de conversações denominado Core, que disponibiliza as conversações de base para garantir os serviços básicos do sistema. Poder-se-á desenvolver *suites* para fins mais específicos como por exemplo um sistema de escalonamento.

O interessante desta infra-estrutura é a generalidade e ao mesmo tempo a objectividade com que se desenvolve, pois a infra-estrutura fornece de base um conjunto substancial de conversações e modelos que permite fácil e rapidamente implementar um sistema baseado em agentes sociáveis, ao mesmo tempo que permite a especialização desses modelos a casos particulares.

Há menos dum ano esta infra-estrutura foi disponibilizada para domínio público, o que levanta grandes expectativas nas suas aplicações.

Das descrições apresentadas, facilmente se comprova que a infra-estrutura KAoS é a mais completa de todas. As infra-estruturas JAFMAS e a JATLite complementam-se mutuamente no que respeita às funcionalidades disponibilizadas, embora fiquem ainda por responder alguns dos requisitos apresentados.

REFERÊNCIAS

- [Agility Forum, 97]** <http://www.agilityforum.com>; 1997;
- [Almeida, 95]** Escalonamento Dinâmico de Tarefas Industriais sujeitas a Prazos de Entrega; Ana Almeida; Dissertação de Mestrado; Porto; Setembro de 1995;
- [Baker, 97]** Manufacturing over the Internet and into Your Living Room: Perspectives from the AARIA Project, A.D. Baker, H.V.D. Parunak, and K. Erol, Working Paper, Department of Electrical & Computer Engineering and Computer Science, University of Cincinnati, January 13, 1997;
URL: <http://www.aaria.uc.edu/cybermfg.ps>;
- [Bongaerts, 96]** Identification of Manufacturing Holons; Luc Bongaerts, Jo Wyns, Jan Detand, Hendrik Van Brussel, Paul Valckenaers; European Workshop on Agent-Oriented Systems in Manufacturing; September 26-27, 1996; Berlin; Germany;
- [Bongaerts, 97]** Schedule Execution in Holonic Manufacturing Systems; Luc Bongaerts, Paul Valckenaers, Hendrik Van Brussel, Patrick Peeters; Proceedings of the 29th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, May 11-13, 1997, Osaka University, Japan, pp. 209-215;
- [Bradshaw, 97]** KAoS: Toward An Industrial-Strength Open Agent Architecture; Jeffrey M. Bradshaw, Stewart Dufield, Pete Benoit & John D. Woolley; In J. M. Bradshaw (Ed.); Software; Cambridge, AAI/MIT Press; ISBN 0-262-52234-9; 1997;

- [Byrne, 93]** The Virtual Corporation, John A. Byrne, Richard Brandt, Business Week, February 8, 1993, pp. 99-103;
- [Camarinha-Matos, 97]** Towards an Architecture For Virtual Enterprises, L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, C. Garita, C. Lima, Proceedings of The Second World Congress On Intelligent Manufacturing Processes & Systems, pp. 531-541, Budapest, Hungary, June 10-13, 1997;
- [Davidow, 92]** M. S. The Virtual Corporation; Davidow, W. H. & Malone; New York: HarperBusiness, 1992;
- [Davis, 83]** Negotiation as a metaphor for Distributed Problem Solving; Davis R., Smith R. G.; Artificial Intelligence, vol. 20, no.1; 1983;
- [Doran, 97]** On Cooperation in Multi-Agent Systems; J. E. Doran, S. Franklin, N. R. Jennings & T. J. Norman; The Knowledge Engineering Review, 12(3), 1997;
- [Etzioni, 94]** A Softbot-Based Interface to the Internet; Oren Etzioni, Daniel Weld Communication of the ACM, 37, 7, 72-79, 1994;
- [Franklin, 96]** Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents; S. Franklin and A. Graesser; in J. P. Müller M. J. Wooldridge & N. R. Jennings (eds.), Intelligent Agents III: Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages; Volume 1193 of Lecture Notes on Artificial Intelligence, Springer-Verlag, 1996;
- [Ganeshan, 95]** An Introduction to Supply Chain Management; Ram Ganeshan and Terry P. Harrison, Penn State University;
URL: http://silmaril.smeal.psu.edu/misc/supply_chain_intro.html;
- [Haines, 98]** Welcome to the Virtual Corporation Page, M. Haines, E. Loiacono, N. Taylor;
URL: <http://www.cba.uga.edu/~ntaylor/virtual/index.html>;
- [Höpf, 96]** Holonic Manufacturing Systems (HMS), The Basic Concept and Report of IMS Test Case 5; Dipl.-Ing. M. Höpf, Knudsen, J.K., MacConaill, P. A., Bastos, J.; Sharing CIM Solutions Linking Innovation with Growth; Proceedings of the tenth CIM-Europe Annual Conference; Copenhagen, Denmark; October 1994;
- [IMS, 94]** Intelligent Manufacturing Systems; A Program for International Cooperation in Advanced Manufacturing; Final Report of the International Steering Committee adopted at ISC6; Hawaii, January 24-26, 1994;
URL: <http://www.ims.org>;

- [Janyashankar, 96]** Multi-Agent Framework for Modeling Supply Chain Dynamics, Technical Report.; Janyashankar M. Swaminathan, Stephen F. Smith, and Norman M. Sadeh. A; The Robotics Institute, Carnegie Mellon University; 1996;
- [Jennings, 98]** Agent Technology, Foundations, Applications, and Markets; N.R. Jennings, M. Wooldridge, eds.; Springer-Verlag, Unicom; ISBN 3-540-63591-2; 1998;
- [Kádár, 97]** An Object Oriented Framework for Developing Distributed Manufacturing Architectures; B. Kádár, L. Monostori, E. Szelke; Proceedings of The Second World Congress On Intelligent Manufacturing Processes & Systems, pp. 548-554, Budapest, Hungary, June 10-13, 1997;
- [Larson, 97]** Integration of Manufacturing with R&D and Markting for Global Competitiveness; Charles F. Larson; Industrial Research Institute, Inc.; 4th Internacional Conference on Manufacturing Technology; December 3, 1997; Hong Kong;
URL: <http://www.iriinc.org/4thinlge.htm>;
- [Lee, 95]** The Evolution of Supply-Chain-Management Models and Practice at Hewlett-Packard; Hau L. Lee and Corey Billington; Interfaces 25 (pp.42-63), 5 September-October, 1995;
- [Marinho, 97]** Sistema de Apoio à Decisão Operacional para Escalonamento Dinâmico da Produção; José Marinho; Dissertação de Mestrado; Universidade do Porto, Portugal; Setembro de 1997;
- [McMillan, 94]** The Virtual Corporation, Report, October 1994,
URL: <http://jcomm.uoregon.edu/~robisson/j649/vi10.html>;
- [Mezgár, 97]** Co-ordination of SMEs' Production Through a Co-operative Network, I. Mezgár, G. L. Kovács, Proceedings of The Second World Congress On Intelligent Manufacturing Processes & Systems, pp. 555-560, Budapest, Hungary, June 10-13, 1997;
- [NGM, 97]** Next-Generation Manufacturing; A Framework for Action; Executive Overview; January 1997;
URL: <http://www.dp.doe.gov/ngm/ngm.pdf>;
- [NIIP, 96]** NIIP (1996), The NIIP Reference Architecture, 1996;
URL: <http://www.niip.org/about-NIIP.html>;
- [Parunak, 94]** Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry; H.Van Dyke Parunak; Industrial Technology Institute; Forthcomming in O'Hare and Jennings, eds., Foundations of Distributed Artificial Intelligence; wiley Inter-Science; 1994;

- [Parunak, 96]** An Introduction to Speech Acts and Dooley Graphs; H. Van Parunak; Industrial Technology Institute;
URL: <http://www.iti.org/~van/dooley.ps>;
- [Parunak, 98a]** What can Agents do in Industry, and Why? An Overview of Industrially-Oriented R&D at CEC, H. Van Dyke Parunak, Industrial Technology Institute, Forthcomming at CIA'98;
URL: <http://www.iti.org/~van/cia98.ps>;
- [Parunak, 98b]** Practical and Industrial Applications of Agent-Based Systems, H. Van Dyke Parunak; Industrial Technology Institute;
URL: <http://www.iti.org/~van/apps98.ps>;
- [Parunak, 98c]** Modeling the Extended Supply Network, Van Parunak and Ray VanderBok, Industrial Technology Institute, Submitted to ISA-Tech '98 (Houston, TX);
URL: <http://www.iti.org/~van/isa98.ps>;
- [Preiss, 97]** The Emergence of the Interprise; Kenneth Preiss; Schools of Management and Engeneering, Israel and Agility Forum, Lehigh University, USA; Keynote lecture of the IFIP WG 5.7 Working Conference, Organizing the Extended Enterprise; Ascona, Switzerland; September 15-18, 1997;
- [Ramos, 95]** Scheduling Manufacturing Tasks considering Due Dates: a new method based on Behaviors and Agendas; C. Ramos, Ana Almeida and Zita Vale; International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Melbourne, Australia, 1995;
- [Ramos, 96]** Scheduling Order in Manufacturing Systems using a Holonic approach; Carlos Ramos, Paulo Sousa; European Workshop on Agent-Oriented Systems in Manufacturing; Berlim, Alemanha; September 26-27, 1996; pags. 80-85;
- [Santos, 97]** Verificação e Validação de Sistemas Baseados em Conhecimento: Veritas, uma Ferramenta de Validação; António Jorge Santos Pereira; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 1997;
- [Sihn, 97]** The Fractal Factory: A Pratical Approach to Agility in Manufacturing; Wilfried Sihn; Proceedings of The Second World Congress On Intelligent Manufacturing Processes & Systems, pp. 617-621, Budapest, Hungary, June 10-13, 1997;
- [Sousa, 97]** Proposal of a Scheduling Holon for Manufacturing; Paulo Sousa, Carlos Ramos; PAAM 97; Londres; 1997;

- [Tharumarajah, 96]** Comparasion of the bionic, fractal and holonic manufacturing system concepts; A. Tharumarajah, A. J. Welles e L. Nemes; International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1996, vol. 9, nº 3, 217-226;
- [Valckenaers, 94]** Results of the Holonic Control System Benchmark at the KULeuven; P. Valckenaers, H. Van Brussel, L. Bongaerts, J. Wyns; Proceedings of the CIMAT Conference; Rensseler Polytechnic Institute, p. 128; October 1994;
- [Valckenaers, 98]** Holonic Manufacturing control at K.U.Leuven; P. Valckenaers, H. Van Brussel, L. Bongaerts, J. Wyns, P. Peeters; Accepted for publication in Proc. of 9th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Nancy, France, 1998;
- [Van Brussel, 95]** Architectural and system design issues in holonic manufacturing systems; Hendrik Van Brussel, Paul Valckenaers, Luc Bongaerts, Jo Wyns; Submitted for publication in Proc. 3rd IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems; Bucharest, (IMS '95); 24-26 November 1995;
- [Van Brussel, 97]** Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA; Hendrik Van Brussel, Jo Wyns, Paul Valckenaers, Luc Bongaerts, Patrick Peeters; Accepted for publication in Computers In Industry, special issue on intelligent manufacturing systems; 1997;
- [Walton, 96]** Virtual Enterprise: Myth & Reality, Walton, J., Whicker L., J. Control, October 1996;
- [Wooldridge, 94]** Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey; M. Wooldridge and N.R. Jennings; Proc. ECAI-Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, 1-32 (eds. M.J. Wooldridge and N.R. Jennings); Amsterdam, The Netherlands; 1994;
- [Wyns, 97]** Resource allocation in the holonic manufacturing system at K.U.Leuven; J. Wyns, P. Valckenaers, H. Van Brussel; Proc. Of Conference on Control of Industrial Systems, Belfort, 1997, Vol. 3, 353-358;
- [Zelm, 95]** The CIMOSA business modelling process; Martin Zelm, François B. Vernadat, Kurt Kosanke; Computers in Industry 27, pp. 123-142; 1995;