

Instituto Politécnico do Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Informática



A Informática no Contexto da Automação Industrial

- Uma Visão Abrangente do que é a Informática Industrial -

Resumo

Estes apontamentos abordam uma temática extremamente actual, que é o conjunto de conceitos, modelos, funcionalidades, técnicas, protocolos e interfaces que possibilita a correcta integração de aplicações informáticas para o domínio das aplicações de produção industrial.

Uma síntese sobre um tema tão abrangente como o que se pretende abordar, num tempo necessariamente limitado, lança um desafio importante. No intuito de dar uma visão tão completa quanto possível da problemática que constitui o tema, é escolhida uma abordagem à generalidade dos assuntos de uma forma que, sendo resumida, não deixa de levantar as questões fulcrais de cada um e de os perspectivar no contexto dos outros. Em complemento, procura-se suscitar o interesse do leitor, pela descida, de quando em vez, aos pormenores de uma técnica ou conceito bem exemplificativos da discussão. Esses pormenores serão assinalados com o título Tecnologia Seleccionada, para marcar claramente a mudança de nível de abstracção.

Índice

Resumo.....	i
Índice.....	ii
1. O Que é a Informática Industrial?	1
1.1. Indústria: um Sector Secundário da Economia?	1
1.2. Uma Breve Noção do que é a Informática Industrial	2
2. Uma Perspectiva Económica da Inovação Industrial.....	5
2.1. De 1800 a 1950: duas Inovações nos Processos Industriais	5
2.2. Inovações na Segunda Metade do Séc. XX	7
2.3. O Suporte Produtivo à Flexibilidade e Evolutibilidade	9
<i>Tecnologia Seleccionada: Wrappers</i>	11
3. Identificação e Modelização de Actividades	15
3.1. Caracterização Genérica de um Sistema de Produção.....	15
3.2. Etapas na Realização de Produtos.....	15
3.3. Breve Descrição de Actividades e Interações	16
3.4. Modelização de Actividades e de Fluxos de Informação	19
<i>Tecnologia Seleccionada: IDEF0</i>	20
<i>Tecnologia Seleccionada: RDP</i>	23
4. Aplicações de Software	27
4.1. Aspectos Genéricos da Integração da Informação	27
4.2. Síntese de Alguns Pacotes de Software.....	28
4.3. Os Sistemas de CAD/CAM/CAE	28
4.4. Os Sistemas PDM.....	30
<i>Tecnologias Seleccionadas: STEP e EXPRESS</i>	34
4.5. Os Sistemas MES	37
<i>Tecnologia Seleccionada: PSL</i>	39
5. Um Novo Modelo de Negócio: o <i>e-Manufacturing</i>	40
5.1. A Inovação no Início do Séc. XXI.....	40
5.2. Algumas Aplicações e Tecnologias Emergentes	42
6. Conclusão	46
7. Referências	48

1. O Que é a Informática Industrial?

1.1. Indústria: um Sector Secundário da Economia?

É conhecida a classificação das actividades económicas em três sectores: o primário, o secundário e o terciário.

De acordo com um Dicionário da Língua Portuguesa [1], o sector *Primário* corresponde ao “conjunto de actividades que produzem as matérias-primas – agricultura, pesca, caça, extracção de minerais, etc.”

Ainda de acordo com o referido dicionário, o sector *Terciário* corresponde “ao terceiro escalão das actividades económicas, que congrega os serviços (comércio transportes, finanças, educação, saúde, e serviços pessoais em geral).”

Quanto à palavra *Secundário*, no prestigiado dicionário de língua Portuguesa, aparecem definições para a palavra nos domínios da geologia, electricidade, botânica, psicologia, etc., mas não a definição de Sector Secundário (da economia). Se procurámos em *Sector*, também não temos sucesso.

Será que a indústria é um sector secundário da economia (Portuguesa)? Segundo [1], *Indústria* é definida como “... a actividade económica que se utiliza de uma técnica, dominada em geral, pela presença de máquinas ou maquinismos, para transformar matérias-primas em artefactos acabados”. Ora, sendo esta a definição de indústria, não poderemos inferir que a indústria será uma actividade secundária da economia. O bom senso dirá que, quanto muito, será uma actividade relacionada com o sector secundário da economia.

Não se tratando de um início muito motivador para introduzir os conceitos associados à *Informática Industrial*, permito-me introduzir duas citações. A primeira constitui, a meu ver, a grande motivação para a informática industrial:

“The success of tomorrow's industrial plant will depend on its ability to gather, share, and utilise information.”

J. T. O'Rourke

A segunda exprime a grande dificuldade em expor, num tempo tão limitado como o desta lição, o que é a Informática Industrial:

“The world is moving so fast these days, that the man who says it can't be done is generally interrupted by someone doing it.”

E. Hubbard

1.2. Uma Breve Noção do que é a Informática Industrial

Nos últimos anos os esquemas de produção têm mudado drasticamente. Se por um lado isto se deve à crescente competição entre as empresas, por outro deve-se ao enorme desenvolvimento das tecnologias, em particular da tecnologias de informação (TI).

Em abstracto, todas as estratégias de produção visam um conjunto de objectivos. Se entendidos nas suas diversas vertentes, esse conjunto de objectivos corresponde a um só mais lato: o aumento da competitividade e do lucro.

Sendo o objectivo de qualquer empresa industrial moderna o do aumento da competitividade, os meios são, eventualmente, automatizar, informatizar, equipar, racionalizar, organizar, etc.

A automatização industrial, entendida no senso lato de que com ela se pretende a realização automática de processos industriais, é um meio para atingir esse fim. A engenharia da automação industrial caracteriza-se por agregar uma grande diversidade de conhecimentos científicos e recursos tecnológicos. Por isso, e contrariamente a outras áreas de engenharia, a engenharia da automação industrial requer equipas de indivíduos dotados de conhecimentos e de experiências diversificadas: as áreas da sua intervenção são numerosas, diversificadas e cada vez mais complexas, ambiciosas e críticas; a automação agrega conhecimentos científicos tradicionalmente transmitidos em diversas áreas da ciência e da engenharia; os inúmeros recursos tecnológicos que potencialmente permitem suportar a automação são extremamente diversificados e propensos a mutações profundas e constantes [2].

Esta é uma das áreas científico-tecnológicas mais expostas a mutações, impondo, por motivações económicas (daí a relação com a gestão), uma constante necessidade de re-engenharia.

A mutação resulta da constante evolução tecnológica, da crescente acessibilidade (económica e técnica) das tecnologias, e da evolução científica quer ao nível da Engenharia dos Processos, quer, essencialmente, ao nível da Engenharia da Informação.

É conhecida, ao nível da automação industrial, a sequência de engenharias que têm vindo a protagonizar os aspectos relacionados com a automatização dos processos (na perspectiva lata da Engenharia da Informação, isto é, representação e processamento de informação, e no caso dos sistemas mais evoluídos, a produção de informação) industriais: primeiro a mecânica, posteriormente a electrotecnia e a electrónica, e, nas décadas mais recentes, a informática.

A Engenharia da Automação Industrial é, na essência, uma simbiose de duas engenharias tradicionalmente encaradas como distintas e multi-facetadas: a Engenharia dos Processos e a Engenharia da Informação.

A Engenharia dos Processos recorre a ciências como a Modelização e o Controlo, tem associadas tecnologias como os Sistemas Informáticos (entendido no âmbito lato de tratamento e produção de informação) e as Máquinas.

As ciências que se relacionam com a engenharia da informação são a representação da informação e o processamento da informação, sendo que as tecnologias indispensáveis são os recursos físicos que permitem introduzir, processar e disponibilizar essa informação.

Ora, hoje em dia, esses recursos são maioritariamente os sistemas computacionais e os sistemas de comunicação, pelo que são cada vez mais relevantes os serviços prestados pela informática à indústria.

Assim, podemos definir a Informática Industrial como sendo o ramo da Informática que se dedica às aplicações desta no mundo industrial.

A ênfase que se dá à engenharia dos computadores e do software no âmbito da informática industrial, prende-se essencialmente com três aspectos:

1. os sistemas computacionais que equipam as instalações industriais tendem a ser cada vez mais complexos;
2. os papéis dos computadores em aplicações industriais são bem diferentes dos desempenhados por sistemas computacionais dedicados a outro tipo de aplicações;
3. em terceiro, porque as actividades industriais têm uma crescente tendência a serem suportadas por computadores (heterogéneos) tornando-os pontos críticos dos aparelhos produtivos.

Para a satisfação desse objectivo tem muito contribuído a ciência e a tecnologia. Nomeadamente, e mais uma vez, as ciências dos computadores e as tecnologias a eles associadas. Porém, as propriedades que se requerem aos sistemas computacionais industriais exigem acções de investigação e desenvolvimento extremamente inovadoras, amplas e complexas.

Assim se justifica o aparecimento de uma enorme diversidade de linguagens de programação especialmente vocacionadas para ambientes industriais, pacotes e tecnologias de software específicas, sistemas operativos específicos, ambientes de desenvolvimento específicos, redes de comunicação específicas, arquitecturas de computação específicas, etc.

Mas se é bem verdade que tanto a engenharia dos computadores como a do software têm evoluído bastante nos últimos anos – nomeadamente, por força da tecnologia –, a verdade é que estas estão ainda muito longe de atingir uma maturidade que lhes permita prestar os serviços que as aplicações mais sofisticadas da automação industrial lhes exigem.

2. Uma Perspectiva Económica da Inovação Industrial

“In making genuine advances the manufacturing process generally has to be completely reorganised and the human factors can not be neglected.”

A. Norman

Serve esta citação para iniciar uma breve descrição de algumas das inovações mais relevantes dos processos industriais¹ que foram sendo introduzidas ao longo da história recente. O objectivo é mostrar que as inovações nos processos industriais levam frequentemente décadas a implantarem-se, e, de alguma forma contextualizar, numa perspectiva económica, os temas abordados nas secções subsequentes.

Começamos por considerar uma inovação do Séc. XIX, a introdução dos componentes substituíveis (*interchangeable parts*). Depois, e relativamente à primeira metade do Séc. XX, a inovação inerente à produção de múltiplos produtos. A principal inovação na segunda metade do Séc. XX foi baseada nos avanços das tecnologias da informação, que permitiram o acelerar da automação dos sistemas de produção de bens. Numa primeira fase, a automação por recurso aos avanços da electrónica, das comunicações e dos computadores permitiu a continuação da tendência que visava o aumento de capital por trabalhador por forma a obter um alto grau de produtividade de trabalho. A tendência actual, ao invés de se centrar numa estratégia de produção em massa (*Mass Production*) – mesmo que nas últimas décadas associada à qualidade –, assenta agora numa política de produção orientada ao consumidor (*Production for Customer Demand* ou *Mass Customisation*).

2.1. De 1800 a 1950: duas Inovações nos Processos Industriais

A análise económica associada ao conceito de componentes substituíveis tem associada três parâmetros:

- custo e a exequibilidade dos maquinismos necessários à criação, com a precisão adequada, do componente;
- a redução dos custos de montagem (*assembly*), uma vez que os operadores deixam de ter de ser operadores especializados;

¹ Pode-se utilizar o termo *manufatura* – em inglês *manufacturing*, apesar de *manufatura*, segundo [1] significar produção manual

- redução dos custos de reparação, porque a substituição de um componente normalizado (*standard*) é menos onerosa do que se for necessário um “artesão” especializado para criar um componente não normalizado.

Desde os tempos pré-históricos existem produtos com componentes substituíveis. A corda de tensão de um arco pré-histórico era um componente substituível. As setas também o eram.

O penoso progresso em direcção ao fabrico de componentes substituíveis esteve por um lado directamente relacionado com a actividade inventiva na criação de maquinismos capazes de os produzir com um elevado grau de precisão, e por outro com a capacidade de produzir esses maquinismos em massa, para reduzir o seu custo.

A ideia de componentes substituíveis pode ter tido origem no Séc. XVIII, em França, onde os militares a viam como um objectivo desejável na construção de armas. Mas, naquela altura os maquinismos com a precisão necessária para criar componentes metálicos não existiam de todo, qualquer que fosse o seu custo. No Séc. XVIII foram inventados maquinismos para a realização de rodas dentadas em madeira para relógios. No final desse século, em Inglaterra, foram inventadas vários tipos de máquinas adequadas a trabalhar a madeira.

Uma das primeiras histórias de sucesso foi a do Americano Eli Terry, na produção de relógios utilizando componentes de madeira [3]. Os maquinismos para trabalhar a madeira eram simultaneamente suficientemente precisos e baratos. Esses relógios podiam ser produzidos em massa a um preço muito mais baixo do que os relógios feitos por artesãos. Em 1814 ele já produzia relógios com componentes em latão e aço. Para obter componentes com a precisão necessária, tinha de utilizar operários especializados que auxiliavam nas máquinas.

Talvez o caso mais significativo tenha sido o da Harpers Ferry Armory [4]. A história remonta a 1798 quando o governo americano assinou um contacto com Eli Whitney para a produção de 10.000 mosquetes. Em 1808 ele construiu uma fábrica em Whitneyville onde foi feita a produção dos mosquetes. Contudo, nem todos os componentes eram completamente substituíveis. As máquinas que produziam os componentes não tinham a precisão adequada. Eli Whitney despendeu um esforço considerável no aperfeiçoamento das suas máquinas para trabalhar metal. Só em 1826 a Harpers Ferry Armory foi bem sucedida, após um extenso trabalho de melhoramento das máquinas realizado essencialmente por Simeon North.

A produção de componentes substituíveis foi sendo lentamente implementada durante o resto do Séc. XIX, tornando-se uma prática comum pelo início do Séc. XX.

Durante a primeira metade do Séc. XX as empresas fabris foram alterando os seus sistemas de produção de linhas de produto único para linhas de múltiplos produtos. Chandler [5] caracterizou esta transição definindo o conceito de *economics of scope*:

- os esforços de investigação e desenvolvimento são rentabilizados se a empresa produzir uma gama de produtos relacionados;
- as empresas economizam vendendo uma variedade de produtos relacionados.

O movimento de fusões no final do Séc. XIX foi vertical e horizontal. As empresas moveram-se para montante no sentido de assegurarem fornecedores de matéria prima ou componentes, e para jusante até aos consumidores finais. Começaram também os movimentos de concentração de negócio. A verdadeira expansão das empresas industriais multi-produto começou nos anos 20. Após a segunda guerra mundial a diversificação tornou-se uma prática corrente.

2.2. Inovações na Segunda Metade do Séc. XX

A diversificação de produtos criou problemas que têm ocupado os inovadores há mais de 50 anos. Produzir múltiplos produtos numa só fábrica cria pelo menos dois problemas que é preciso ultrapassar:

1. ter a matéria prima ou o componente inacabado no sítio e instantes correctos do processo produtivo;
2. determinar o lote (*production run*) adequado à procura.

A entrada podem ser componentes para montagem, no caso de sistemas de produção discreta (*discrete parts manufacturing*), ou uma combinação de químicos no caso de sistemas de produção contínua (*continuous process*).

A solução mais simples para o problema de coordenação (primeiro problema) é ter armazenamento de matérias primas ou de intermédios nas “entradas” de cada estação do processo produtivo (Figura 1). Fica assim facilitada a execução do escalonamento das tarefas bem como o controlo de qualidade, já que os operários podem escolher o componente ou inacabado dentre aqueles disponíveis na “caixa”.

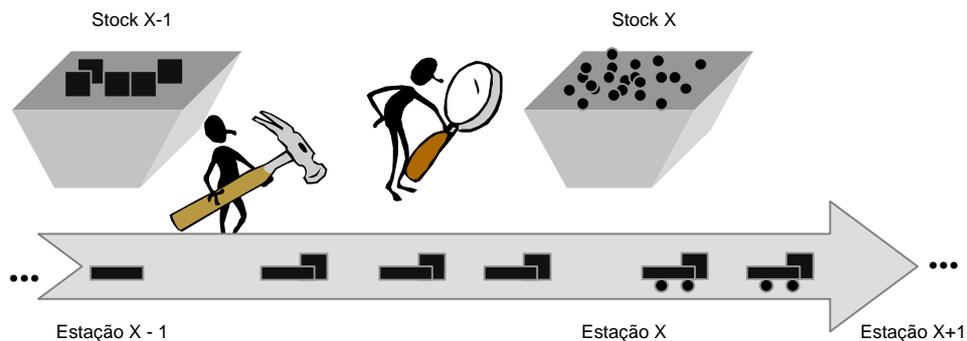


Figura 1

Esta simples solução tem inerente um problema de custo uma vez que as matérias primas, os componentes e os inacabados são investimentos financeiros que não têm retorno até que a empresa obtenha o pagamento pela venda do produto final.

Os aspectos económicos do segundo problema são condicionados pelo custo e tempo para passar da produção de um produto para um outro (*changeover*). Quanto maior for o custo e mais tempo for necessário para a transição, maior terá de ser o lote de produção de cada produto, por forma a distribuir os custos do *changeover*. Mas, a produção de grandes lotes tem também um custo escondido, no sentido em que grandes *stocks* de produtos finais constituem também investimento empatado. Em sumário, quanto mais barato e mais rápido for o *changeover*, maior será a variedade de produtos que podem ser produzidos numa só fábrica.

Na segunda metade do Séc. XX, os inovadores industriais utilizaram os avanços nas tecnologias da informação para aumentar a automatização da produção, mas essencialmente aumentar a flexibilidade do sistema produtivo, começando a ser implementada uma estratégia de produção para a procura.

Por diversas razões, a classificação e tipificação dos diferentes tipos de indústria é um desafio complexo [6], mas é comum, como já foi referido, definir dois tipos essenciais de indústria [7]:

- *A Indústria de Processos Contínuos*: químicos, petroquímicos, cerveja. Neste tipo de indústria, os sistemas de produção estão, hoje em dia, fortemente automatizados. É costume dizer-se que os operários da produção “*sit around and watch the dials*” [8].
- *A Indústria de Componentes Discretos*: automóveis, equipamentos eléctricos, maquinaria, etc. Dentro da indústria de fabrico discreto (ou dos componentes substituíveis) é ainda razoável uma divisão em dois sub-tipos

[9], que de alguma forma se alicerçam nas inovações dos processos industriais atrás referidos:

- *Produção em Massa*: na produção de grandes volumes compensa ter uma máquina para cada propósito específico. O número de itens correspondente a “grande volume” depende do tipo de produto em particular. A produção em massa de produtos discretos tenta emular as características da produção contínua na produção de produtos baseados em componentes discretos que são produzidos em grande volume e com variações e evolutibilidades pouco significativas. Como resultado, a produção em massa tem tirado, ao longo da história, fortes proveitos da mecanização, automatização e informatização.
- *Produção Job-Shop*: a planta fabril produz um conjunto diverso de produtos, a partir de um grande número de componentes que requerem diferentes sequências de processamento em diferentes equipamentos de produção.

Esta aula visa especialmente este último tipo de sistemas produtivos, apesar de muitos dos tópicos abordados serem relevantes para todos os tipos de indústria.

Os sistemas de produção do tipo *job-shop* são aqueles que apresentam os maiores desafios de automatização, informatização, racionalização e reorganização. Na essência, os problemas colocados resultam por um lado da

1. necessidade de coordenar o fluxo de materiais (domínio da engenharia de fabrico e produção);

e por outro da

2. necessidade de coordenar esforços de concepção e especificação de produtos cada vez mais complexos e com ciclos de vida cada vez mais curtos (domínio das engenharias de concepção e de fabrico).

2.3. O Suporte Produtivo à Flexibilidade e Evolutibilidade

A linha de montagem esboçada na Figura 1 tem, como já foi referido uma série de desvantagens. Primeiro, o conjunto de matérias primas e de produtos intermédios (*work-in-progress*) é grande, o que poderá significar investimento não realizado. Segundo, e não menos importante, a abordagem exige espaço adicional para os *stocks* intermédios, o que, dependendo do que está a ser produzido, pode representar um problema importante quando espaço é um bem escasso e caro.

O Japão é um país com uma área territorial poucas vezes maior do que a de Portugal, mas onde só 15% da sua área é adequada à construção de plantas fabris. Não é por isso de admirar que tenha sido o Japão, durante a segunda metade do Séc. XX, a contribuir com algumas das mais relevantes inovações nos processos industriais.

No domínio da gestão dos sistemas produtivos, o Japão introduziu há algumas décadas o conceito de *Just-in-Time* (JIT) [10], com a ênfase na redução do inventário fabril (*Inventory – stocks* de matérias primas, de inacabados e de produtos finais). São as ordens para o produto final (venda) que geram as ordens para a produção e montagem (*assembly*) de componentes (*Demand Pull*). Associado à implementação aparece o *Kanban* (que significa etiqueta).

Este paradigma de gestão foi o precursor dos actuais MRP II (*Manufacturing Resources Planning*) [11], e dos ainda mais recentes ERP (*Enterprise Resources Planning*) [12] e SCM (*Supply Chain Management*) [13].

Contudo, cabe nesta secção um ênfase maior à automatização dos processos de fabrico, em particular as máquinas ferramenta de controlo numérico, os manipuladores robóticos programáveis (do tipo SCARA ou antropomórficos [14]), os veículos de transporte automático (AGV – *Automatic Guided Vehicle* [15, 16]), os sistemas de armazenamento automático (AS/RS – *Automatic Storage/Retrieval Systems*) [18] os sistemas de inspecção visual automática (AVIS – *Automatic Visual Inspection System*) [19] e de medição automática de coordenadas (CMM – *Co-ordinate Measuring Machines*) [20], etc.

Este tipo de equipamentos de produção permite a realização de sistemas flexíveis de fabrico (FMS – *Flexible Manufacturing System*), que por sua vez são formados por células de fabrico.

Uma célula de fabrico é um conjunto integrado de recursos básicos (robôs, máquinas ferramenta, transportadores, etc.) e respectivos controladores que de uma forma coordenada executam uma função ou conjunto de funções específicas (montagem, pintura, inspecção, etc.). Um sistema de fabrico flexível integra várias células e subsistemas de transporte e armazenamento, apresentando um alto grau de flexibilidade, agilidade, eficiência e qualidade.

A célula é flexível porque as máquinas e equipamentos são programáveis (NC – *Numerical Control*, PLC – *Programmable Logic Controller*, etc.). Por controlo numérico entende-se a codificação numérica de informação para um controlo automático do posicionamento do equipamento/ferramenta/componente a processar [9]. Para máquinas ferramenta isto pode querer significar o movimento de uma ferramenta de corte, ou o movimento do componente que está a ser processado em

relação a uma ferramenta rotativa, ou ainda a mudança de ferramentas de corte. Um outro exemplo menos usual de uso de máquinas de controlo numérico é na realização de modelos compósitos (processo industrial conhecido como LM - *Layered Manufacturing*) [21] e associado à prototipagem rápida - *Rapid Prototyping* [[26]).

O posicionamento e inserção de um componente electrónico numa placa de circuito impresso também pode ser executado por máquinas de controlo numérico. Outras formas mais elaboradas de manipulação recorrem aos robôs, ou manipuladores robóticos. O conceito de programação é semelhante. Normalmente são definidos pontos no espaço tridimensional, e a programação permite a definição de movimentos com base em pontos pré-definidos, rotações de eixo e actuação dos dispositivos manipuladores (por exemplo garras).

A seguir será apresentado um exemplo não muito elaborado de programação robótica. O objectivo é ilustrar alguns conceitos de programação de um robô específico, mas essencialmente ilustrar o problema associado a integração de equipamentos com interfaces heterogéneas num sistema de controlo que coordena a actividade de um sistema flexível de fabrico. Uma das possibilidades integrar equipamento legado (antigo) é a construção de invólucros (*wrappers*), conforme será sucintamente explicado.

Tecnologia Seleccionada: Wrappers

O projecto Europeu R-Fieldbus [22] visa o desenvolvimento de uma rede de comunicações baseada numa rede local industrial (o PROFIBUS [23]) mas com suporte a comunicações multimédia [25] e *wireless*.

Para validar a arquitectura de comunicações está a ser desenvolvido um piloto industrial no ISEP [27]. O processo produtivo considerado corresponde a um sistemas de inspecção (visual automática) e classificação de componentes. O sistema vai ter uma relativa complexidade combinando AGVs, robôs e tapetes rolantes automáticos formando o conjunto uma célula industrial de transporte, inspecção e manipulação integrada e automatizada (Figura 2).

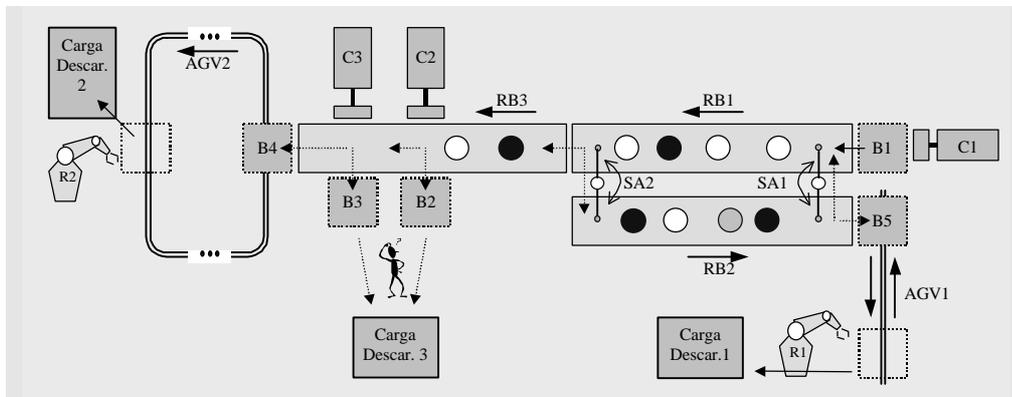


Figura 2

Foquemos em particular nos manipuladores robóticos R1 e R2. Estes robôs da Eshed Robotec têm um controlador (PC Industrial) para onde é possível descarregar programas de controlo de trajetória e manipulação escritos em ACL (*Advanced Control Language*) [28].

O ACL permite definir pontos no espaço tridimensional, executar movimentos simples e compostos, etc. O controlador do robô, tal como acontece em muitos sistemas menos sofisticados (ou mais sofisticados mas antigos) permite comunicações com o exterior via porta série (RS-232). O controlador pode funcionar como servidor de um terminal (comandos ACL digitados na linha de comando).

Exemplo de uma sequência de comandos:

```
moved 800
moved 801
close
moved 802
moved 803
moved 804
open
moved 803
moved 2
```

Esta sequência de comandos linha pode alternativamente fazer parte de um programa residente no controlador (são acrescentadas estruturas de controlo repetitivo e condicional, instruções de alteração do valor de coordenadas cartesianas e instruções de comunicação com o exterior - 'print' é utilizado para enviar mensagens do robô para o controlador - para ilustrar mais algumas funcionalidades permitidas pelo ACL):

```
...
FOR iter_1 = 1 TO 2
```

```

moved 800
moved 801
close
moved 802
moved 803
IF iter_1 = 2
  SETPVC 804 z 3000
ELSE
  SETPVC 804 z 1000
ENDIF
moved 804
open
moved 803
moved 2
print "FIM"
ENDFOR
(END)

```

Para executar o programa é preciso enviar, via porta série, o comando “run prog_1”.

A integração deste tipo de equipamentos passa muitas vezes pelo desenvolvimento de invólucros (*wrappers*) em torno de sistemas legados, conforme se ilustra genericamente na Figura 3.

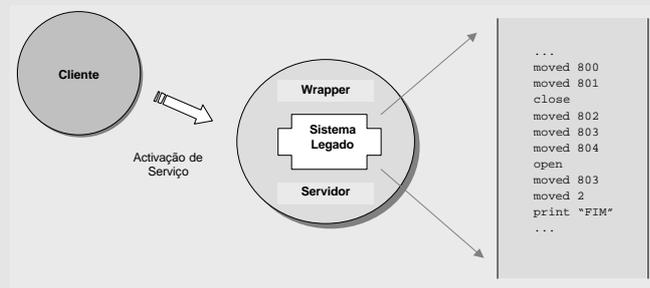


Figura 3

O servidor do sistema legado poderá ser uma aplicação em *VisualBasic* (com este a interagir com o robô via objecto de controlo *MsComm*), o que permitirá a essa aplicação comunicar com outras aplicações via DDE [29] ou OLE. Aliás, a utilização de *middleware* como o CORBA [30], DCOM e Jini são práticas correntes no suporte ao desenvolvimento de aplicações distribuídas permitindo que um objecto cliente possa invocar, de forma transparente, um método num objecto servidor na mesma ou em qualquer outra máquina numa rede de comunicações.

Hoje em dia, quase todos os sistemas/equipamentos de automação industrial são baseados em sistemas computacionais industriais, onde, entre outras

preocupações, as funcionalidades próprias, a correcta execução temporal e a tolerância a falhas [31] exigem o emprego de plataformas de *hardware*, sistemas operativos (RT-Linux, ProcessPascal [32, 36]), linguagens de programação (Ada 95, RT-Java [33, 34]) e redes de comunicação específicas (CAN - *Controller Area Network*; PROFIBUS, WorldFIP [35, 37]). Estas tecnologias e disciplinas da ciência dos computadores (tempo-real e tolerância a falhas), não sendo um exclusivo das aplicações industriais computacionais industriais, estão contudo intimamente ligadas a eles.

3. Identificação e Modelização de Actividades

Na secção anterior abordaram-se alguns aspectos que dizem respeito ao suporte informático das operações de fabrico propriamente ditas. Foi no entanto dada a motivação para a necessidade de coordenar as actividades de projecto de produtos/componentes com as operações de fabrico, e destas com o planeamento e controlo da produção.

3.1. Caracterização Genérica de um Sistema de Produção

Considere-se um sistema de produção genérico do tipo fabrico de componentes discretos (por exemplo, industria metalo-mecânica, de componentes para automóveis ou de material eléctrico).

Os produtos finais envolvem várias dezenas de componentes. Os componentes têm alguma complexidade (forma, tolerância, etc.) e são necessários alguns processos (montagem, maquinação, transporte, manipulação e inspecção) para atingir o produto final. Existe uma mistura de componentes fabricados na empresa (*In-house*) e de componentes provenientes de fornecedores externos (*Procured*). Os produtos têm ciclos de vida curtos.

3.2. Etapas na Realização de Produtos

Na perspectiva do processo produtivo, pode dizer-se que este envolve três etapas: a engenharia do projecto de produto (*Design engineering*), a engenharia do fabrico (*Manufacturing Engineering*) e a produção (*Production*), conforme ilustrado na Figura 4.

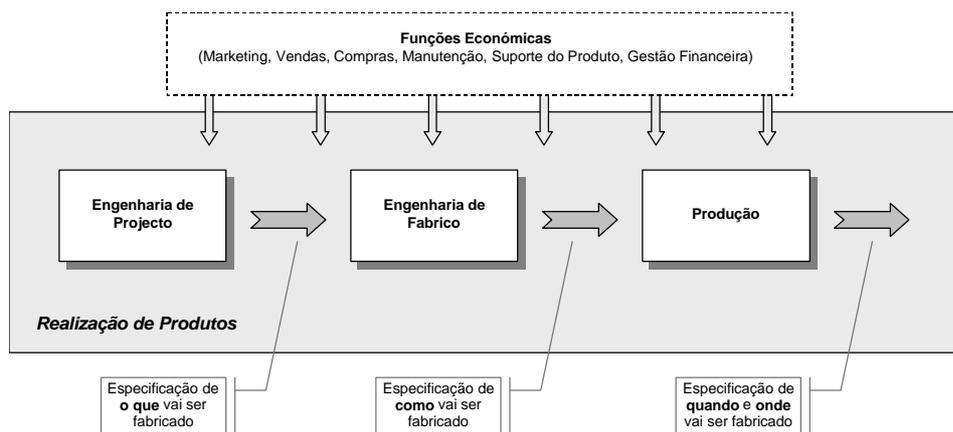


Figura 4

Apesar destas etapas poderem ser descritas separadamente, na prática, na maioria dos sistemas industriais estas actividades sobrepõem-se e interagem. O planeamento deliberado dessa interacção chama-se engenharia concorrente (*Concurrent Engineering*), que, entre outros aspectos, é benéfica para:

- melhoria da qualidade do produto;
- redução do tempo desde o início do projecto até à disponibilização do produto no mercado (*Time-to-Market*).

Obviamente que a natureza e o *timing* das interacções da engenharia concorrente, e da engenharia com as próprias actividades de produção variam consideravelmente com as empresas e com os produtos.

Para resumir aspectos que têm a ver com os conceitos de tecnologia de grupo (GT – *Group Technology*) onde os componentes ou produtos são semelhantes, relacionados ou modulares, e com as abordagens de planeamento de processo (engenharia de fabrico), ou ainda com o facto de a grande proporção da actividade de projecto na indústria não ser do tipo “*design from scratch*”, as actividades de engenharia de fabrico podem ser vista em relação mais apartada com a engenharia de projecto ou com a produção, ou nenhuma.

De uma forma geral, estão associados à engenharia concorrente os conceitos de *manufacturability*, *assemblability* e *transportability* (DFx – *Design for Manufacturability*, etc. [39, 40]).

3.3. Breve Descrição de Actividades e Interacções

As principais actividades relacionadas com as engenharias de projecto, com a engenharia de fabrico e com a produção são as seguintes:

- | | |
|-----------------|--|
| PROJECTO | <ul style="list-style-type: none">• Planeamento de Produto• Especificação Funcional• Projecto de Configuração• Projecto Detalhado |
| FABRICO | <ul style="list-style-type: none">• Planeamento de Processo• Estimação de Custo• Especificação e Planeamento da Ferramenta• Geração de Programas de Controlo Numérico• Planeamento da Inspecção• Planeamento da Montagem• Simulação do Planeamento do Processo• Verificação de Programas de Controlo Numérico |
| PRODUÇÃO | <ul style="list-style-type: none">• Escalonamento da Produção• Controlo da Produção |

- Planeamento das Necessidades de Materiais
- Planeamento dos Recursos de Fabrico
- Controlo do Inventário
- Seguimento de Tarefas
- Manutenção
- Simulação da Produção
- Processos Industriais (equipamento, etc.)

Relativamente à engenharia de projecto, o planeamento de produto (especificação do problema de projecto) e especificação funcional (decomposição funcional do projecto) são normalmente duas actividades para as quais não existem ferramentas de suporte baseadas em computador (pelo menos nas áreas de produção industrial que aqui estamos a abordar).

Na essência, o projecto de configuração produz a seguinte informação: estrutura de montagem/desmontagem; especificação de materiais; estimação preliminar de custos; aspectos de segurança; aspectos ambientais; etc. O projecto detalhado deverá produzir, entre outras, a seguinte informação: desenhos detalhados ou modelos de produto; resultados de estudos de engenharia; estimação detalhada de custos; protótipos não funcionais em estereo-litografia; etc.

A fase de projecto é iterativa. Normalmente ocorrem processos de re-engenharia que visam a melhoria do produto, por exemplo com base em ferramentas de análise de engenharia (por exemplo, análise de estruturas mecânicas por recurso a métodos de elementos finitos – FEA - *Finite Element Analysis*). Modificações no projecto podem também ser feitas em resultado de *feedback* da engenharia de fabrico.

As actividades da engenharia de fabrico (algumas delas ocorrem em paralelo com a engenharia de projecto) são essencialmente do tipo planeamento ou simulação. É importante notar que as actividades de planeamento podem ser capitalizadas para a realização de produtos subsidiários.

O planeamento de processo especifica em detalhe a sequência das operações de fabrico que permitem a conversão de matéria-prima, inacabados ou componentes num componente (ou produto final), tal como especificado no projecto. Normalmente existem dois níveis de especificação: o planeamento de macro-processos e o planeamento de micro-processos. O primeiro especifica a sequência de operações de fabrico a serem efectuadas num conjunto de máquinas. O segundo especifica as operações a serem executadas em cada máquina em particular. A fronteira entre os dois níveis é muitas vezes difícil de delinear.

Do ponto de vista funcional, existem duas abordagens ao problema do planeamento de processos. O planeamento de processos baseado em variantes (*Variant Process Planning*) e o planeamento de processos generativo (*Generative Process Planning*). O primeiro tira partido da tecnologia de grupo ou similaridade de produtos para de uma forma mais simples refazer o plano a partir de outros existentes. O planeamento generativo é mais exigente mas também mais flexível.

Como já foi dito, a engenharia de fabrico pode fornecer *feedback* à engenharia de projecto. Por exemplo, uma das saídas do planeamento do processo é a estimativa detalhada dos custos de produção, informação essa que pode levar a uma re-especificação do projecto, por forma a que o custo de produção seja mais baixo. Outras actividades de planeamento relacionadas com a engenharia de fabrico incluem o planeamento NC, de montagem e inspecção. O planeamento de NC inclui a especificação detalhada das estratégias de maquinação, a partir dos quais são gerados os programas a serem executados nas máquinas de controlo numérico. O planeamento da inspecção define estratégias para a inspecção do componente ou produtos, em diferentes fases do seu processo produtivo, por forma a assegurar que eles cumprem as especificações de projecto. O planeamento da montagem define a sequência pela qual os componentes têm de ser montados, e é usualmente uma outra grande fonte de *feedback* para a engenharia de projecto. Por razões óbvias, o planeamento da montagem tem também a ver com a manutenção e reparação do produto.

As actividades de produção correspondem às actividades relacionadas com o domínio onde as operações de fabrico propriamente ditas ocorrem. Estas são especificadas durante a fase de engenharia de fabrico, que gera a informação essencial para o seu controlo. Contudo, outra informação de controlo é gerada por outras actividades do domínio das actividades de produção. Em parte isso deve-se ao facto de os recursos de fabrico serem partilhados por uma gama de componentes/produtos e não por um só componente/produto.

As actividades de produção determinam os produtos/componentes a ser fabricados em cada instante, a ordem pela qual são produzidos bem como a alocação de recursos para a sua produção.

No caso vertente da produção do tipo *job-shop*, determinar um bom escalonamento da produção pode significar para uma empresa industrial a diferença entre o lucro e o prejuízo. Mesmo para sistemas industriais, o número de possibilidades de acção torna-se tão grande que se torna quase impossível obter uma solução óptima para o problema. Em geral, os problemas de escalonamento *job-shop* pertencem à classe de problemas *NP-complete* [41], e por isso são dos mais difíceis de formular e resolver. A maioria dos esforços para modelizar e

solucionar os problemas de escalonamento têm-se centrado ou na simplificação do problema (por exemplo por decomposição) ou na aplicação de heurísticas eficientes que encontrem uma solução aceitável (não necessariamente óptima). Em [42] são descritas e analisadas muitas das técnicas empregues que vão desde a programação matemática, à inteligência artificial distribuída (agentes), passando por redes neuronais e lógica difusa até à mais recente abordagem ao problema do escalonamento com restrições. Recentemente tem havido avanços importantes na utilização de metodologias baseadas no conhecimento e inteligência artificial para a implementação de abordagens reactivas no escalonamento (habilidade de rever o plano para fazer face a acontecimentos não previstos).

3.4. Modelização de Actividades e de Fluxos de Informação

Esta breve descrição das actividades envolvidas na realização de produtos e das suas interacções serve também para motivar a necessidade de estabelecer modelos formais que descrevam essas actividades, bem como os fluxos de informação necessários para suportar essas actividades.

Várias propostas têm surgido para arquitecturas de referência e metodologias genéricas que permitam enquadrar e orientar os processos de integração empresarial. Como principais exemplos podem referir-se a CIM-OSA (*CIM-Open Systems Architecture*) [43, 44] e a PERA (*Purdue Enterprise Reference Architecture*) [45, 46]. Mais recentemente surgiu a arquitectura GERAM (*Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology*) [47], onde recentemente tem havido algum esforço para a alargar ao âmbito das empresas virtuais.

O *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [48], através do *Manufacturing Systems Integration Division* (MSID) [49] tem vindo a desenvolver a arquitectura de referência SIMA² (*Systems Integration for Manufacturing Applications*) [50], que se baseia num documento de referência [51] também elaborado no âmbito dessa divisão do NIST.

Será interessante fazer uma leitura breve dos relatórios anuais de projecto produzidos em 1996 [53], 1999 [54] e 2001 [55], para se ter uma ideia das

² Outras iniciativas do género são a CIM-OSA (*CIM-Open Systems Architecture*) [43, 44] e a PERA (*Purdue Enterprise Reference Architecture*) [45, 46]. Mais recentemente surgiu a arquitectura GERAM (*Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology*) [47], onde recentemente tem havido algum esforço para a alargar ao âmbito das empresas virtuais.

iniciativas na área das tecnologias de informação para aplicações industriais que têm vindo a ser protagonizadas desde 1995, no âmbito da iniciativa SIMA.

O documento [50] descreve um modelo de actividades genéricas envolvidas no processo industrial, e os fluxos de informação para suportar essas actividades. Esse documento constitui o primeiro passo em direcção ao objectivo do projecto de arquitectura SIMA: identificar as funções e interfaces necessárias aos sistemas de software para aplicações industriais.

Existem várias normas para modelação funcional de actividades. A mais utilizada para estabelecer modelos funcionais das actividades industriais é o IDEF0 (*Integration Definition for Function Modelling*), que corresponde à norma FIPS (*Federal Information Processing Standards*) 183 [52]. O IDEF0 foi desenvolvido no âmbito do programa ICAM (*Integrated Computer-Aided Manufacturing*) dos laboratórios Wright da Força Aérea Americana.

Tecnologia Seleccionada: IDEF0

O IDEF0 permite modelizar de forma completa e consistente as funções (actividades, acções, processos e operações) necessárias serem suportadas na empresa industrial e as relações funcionais e dados (informação ou objectos) entre essas funções.

É uma técnica de modelização que é independente dos métodos ou ferramentas CASE (*Computer-Aided Software Engineering*) mas pode ser utilizada em conjunto com estas para fornecer uma técnica de modelização com as seguintes características:

- é genérica (não dependente da complexidade ou do âmbito);
- é rigorosa (produção de modelos correctos e utilizáveis);
- é concisa (facilita o entendimento, comunicação, consenso e validação);
- é conceptual (apenas representação de requisitos funcionais);
- é flexível (suporta as várias fases do ciclo de vida do projecto).

Não podendo entrar em muitos detalhes, os objectos fundamentais de um modelo IDEF0 são as actividades (representados por caixas), os fluxos de informação (representados por setas) e os recursos (também representados por setas).

O IDEF0 define regras para o refinamento de actividades (Figura 5, retirada de [52]). Os fluxos de informação são modelizados por setas, definindo o IDEF0

uma série de regras quanto ao seu posicionamento e orientação em relação às actividades e páginas de refinamento. Cada lado da caixa tem um significado normalizado em termos de relação caixa/seta.

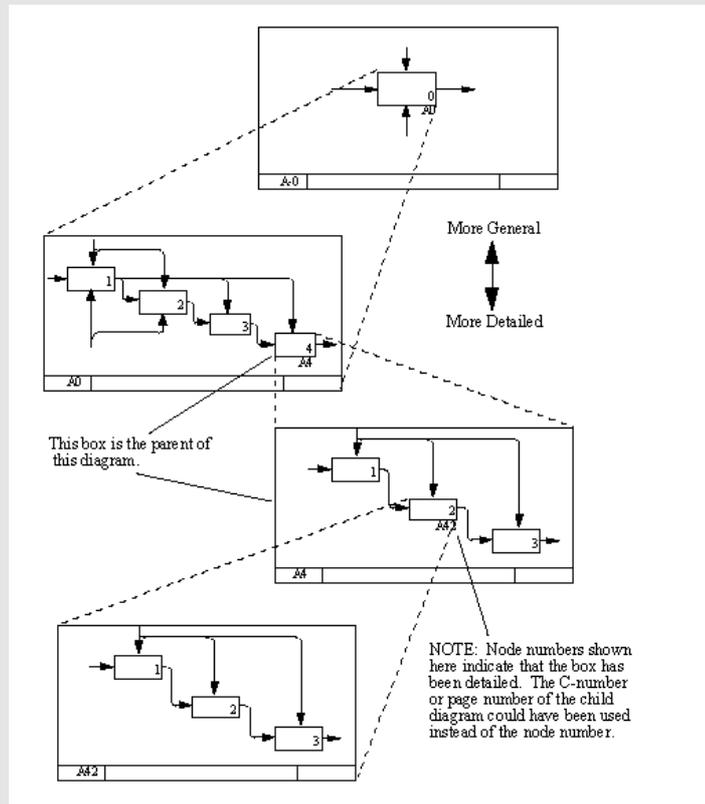


Figura 5

Do ponto de vista de uma actividade única, os fluxos de informação são definidos em três categorias: entradas (setas na parte esquerda da caixa), saídas (setas na parte direita da caixa) e controlo (setas no topo da caixa). Os recursos são representados por setas na parte de baixo das caixas de actividades. Uma actividade pode precisar de recurso ou fornecer recursos. O IDEF define muitas outras regras de sintaxe para as caixas e setas e de semântica para a relação caixas/setas.

Nas Figuras seguintes apresentam-se alguns dos modelos IDEF0 definidos para a arquitectura SIMA (figuras retiradas de [50]).

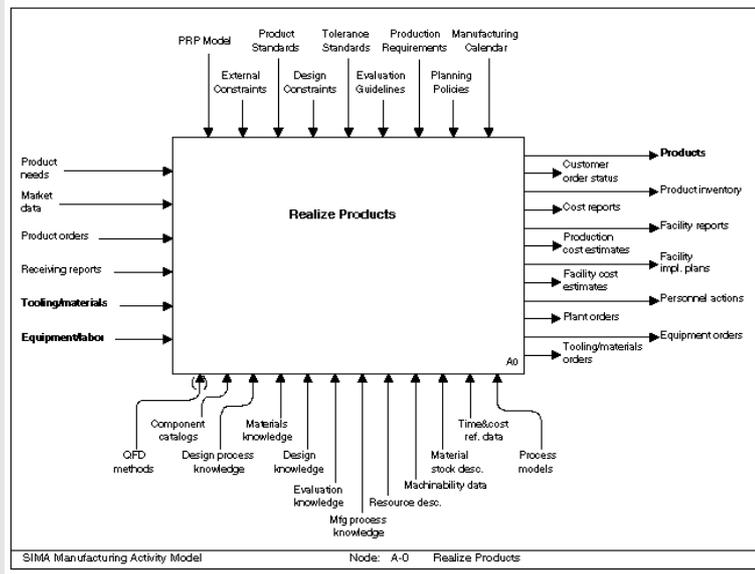


Figura 6

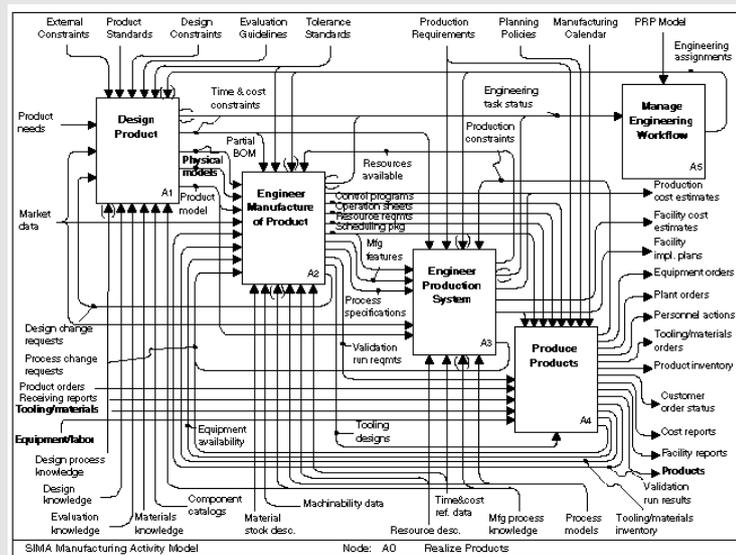


Figura 7

Uma nota importante é referir a necessidade que houve no âmbito do SIMA em introduzir algumas convenções adicionais não consideradas na norma mas compatíveis com a norma.

É possível utilizar as saídas dos diferentes tipos de planeamento descritos anteriormente para realizar simulações (gráficas ou não). Elas constituem uma ferramenta importante para a validação dos planos.

Ao contrário do IDEF0, que apenas permite uma modelação funcional (mais tarde falar-se-á de ferramentas usadas na modelação de informação, as Redes de Petri (RDPs) [56, 57] permitem modelizar execuções temporais, precedência, acções repetitivas, etc. As RDPs têm como grande vantagem o facto de terem simultaneamente uma forte componente gráfica de modelização e de poderem facilmente ser utilizadas em ferramentas de simulação e validação de modelos dinâmicos (por exemplo de processos).

Tecnologia Seleccionada: RDP

Os elementos que permitem a definição de uma RdP (Rede de Petri) são as posições (P), as transições (t), as marcas (ou testemunhos) e os arcos de ligação entre as posições e as transições.

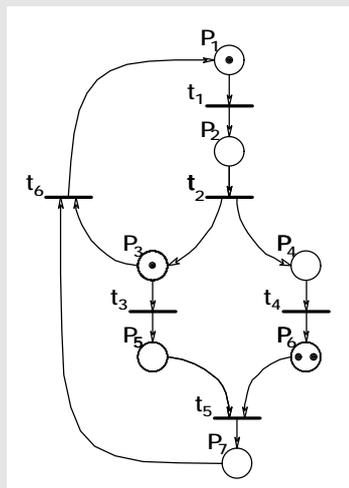


Figura 8

Uma posição pode ser interpretada como uma condição, um estado provisório, uma espera ou uma posição geográfica. Uma transição, corresponde a uma ocorrência ou acontecimento. O testemunho pode representar uma condição satisfeita, ou que um objecto está presente numa determinada posição geográfica.

A marcação da RdP representada na Figura 8 é definida pelo vector: $M = (m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7) = (1, 0, 1, 0, 0, 2, 0)$. A marcação de uma RdP define, para um determinado instante, o estado de um sistema definido pela

RdP. A evolução de estado corresponde a uma evolução da marcação, evolução essa que se produz por disparo de transições. Uma transição está disponibilizada por uma determinada marcação, se cada uma das suas posições precedentes dispõe de, pelo menos, um marca.

O disparo de uma transição compreende duas operações simultâneas: a cada posição anterior à transição é retirada uma marca; a cada posição posterior à transição é adicionada uma marca.

Admita o seguinte exemplo de célula de fabrico (Figura 9). Os componentes vão chegando a *Buff_in*, e deverão ser processadas, indistintamente, numa das duas máquinas. Cada máquina só poderá processar uma componente de cada vez. Depois de processada a peça deverá ser colocada em *Buff_out*. O robô é utilizado para todas as operações de transporte. Admita ainda que os buffers têm capacidade ilimitada.

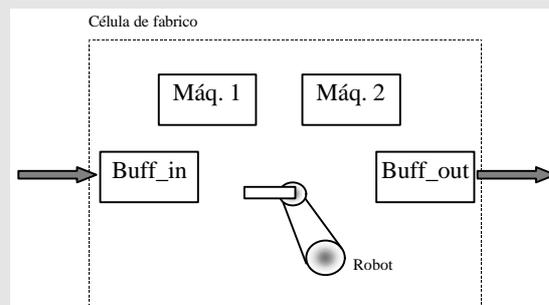


Figura 9

Admitindo que o projecto do planeamento de processo (*macro-process planning*) era o que está modelizado na Figura 10, uma ferramenta informática de simulação e validação de processo baseada em RdPs (os estados e as dinâmicas das RdP são modelizáveis por uma equação algébrica - a equação fundamental da RdP) identificava situações de bloqueio (por exemplo o representado na Figura 11) em relação ao recurso partilhado (robô). Uma máquina precisa de estar livre para que o Robô inicie a operação de transporte.

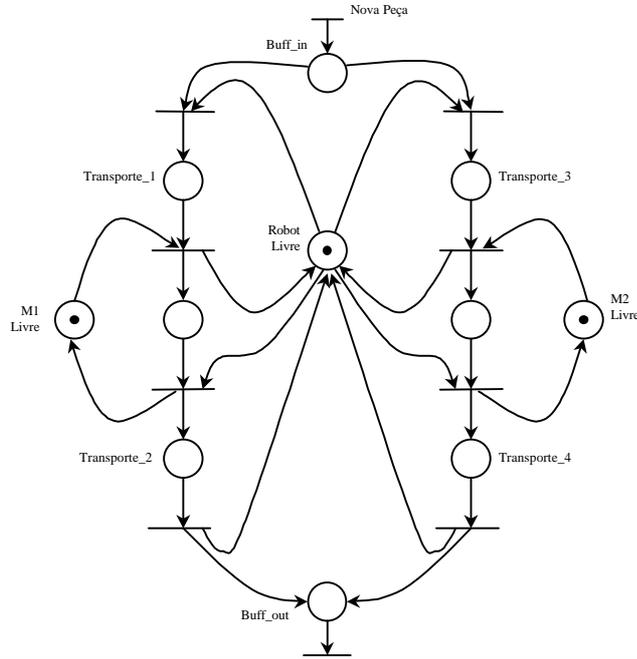


Figura 10

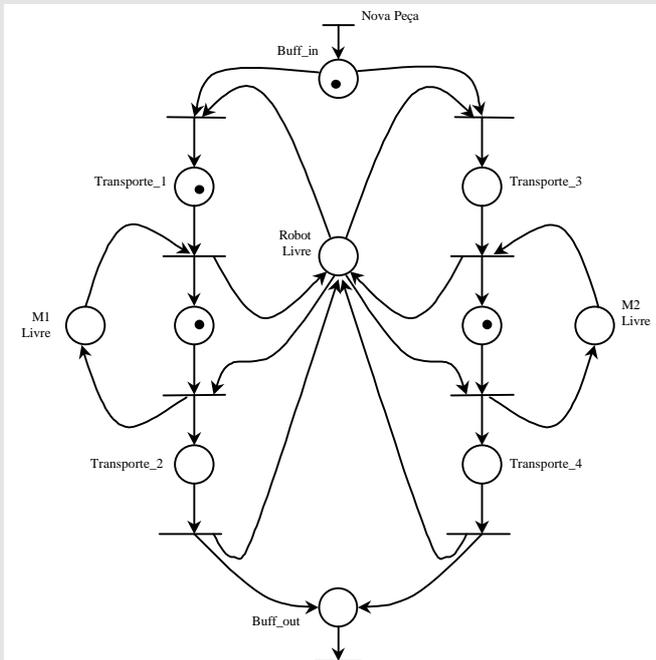


Figura 11

Existem muitas extensões às regras básicas e características das RdPs (por exemplo tempo), que fazem delas uma ferramenta muito poderosa na modelização e validação de processos. Existem no mercado inúmeras ferramentas baseadas em RdPs.

4. Aplicações de Software

4.1. Aspectos Genéricos da Integração da Informação

Um sistema de produção integrada consiste em vários módulos de *software*, cada qual devendo ser visto como um sistema de informação *per si*. Exemplos incluem os sistemas de CAD (*Computer-Aided Design*), os sistemas de planeamento, as bases de dados de recursos e de materiais, os sistemas de escalonamento e os sistemas de fabrico (máquinas NC, robôs, transportadores, controladores de processos, etc.). Cada um destes pode gerar informação, guardar informação, adquirir informação a partir de outros sistemas e passar informação a outros sistemas. Normalmente, os módulos individuais estão distribuídos por um conjunto de plataformas de *hardware*. Para fazer com que estes componentes funcionem de forma efectiva em conjunto, é preciso permitir que eles partilhem a informação e façam uso das capacidades uns dos outros.

Para haver uma integração efectiva é preciso que haja uma identificação

- da Arquitectura
 - que informação é precisa e gerada em cada sistema
 - a que pedidos responde o sistema e que funções executa
- das Especificação de Interface
 - que trocas de informação ocorrem, quando, e que sistemas vão estar envolvidos
 - como é que a informação é trocada.

A informática industrial, entendida como o ramo da informática que se dedica às aplicações desta nos sistemas de produção industrial, define um conjunto de arquitecturas de sistema e especificações de interface que permitem a integração dos componentes dos sistemas de engenharia de projecto, engenharia de fabrico, da produção e dos sistemas associados às operações de fabrico. O seu âmbito abarca: modelos funcionais; arquitectura de sistemas; modelos de informação formatos de trocas de dados; protocolos e especificações de interfaces.

No contexto dos protocolos e especificação de interfaces, fala-se de protocolos de aplicação (AP – *Application Protocols*) e de interfaces de programação de aplicações (API - *Application Programming Interfaces*). Estes protocolos e interfaces permitem a comunicação directa entre os módulos de *software* das

aplicações industriais. Sistemas de comunicação e protocolos de rede suportam as trocas de informação.

4.2. Síntese de Alguns Pacotes de Software

Alguns dos mais importantes pacotes de software disponíveis para as áreas da engenharia de projecto e fabrico e para as actividades de produção incluem:

- Engenharia de Projecto
 - Sistemas de *Computer Aided Design* (CAD)
 - Sistemas de *Product Data Management* (PDM)
 - Sistemas de *Computer Aided Engineering* (CAE)
- Engenharia de Fabrico
 - Sistemas de *Computer Aided Process Planning* (CAPP), tipicamente associados a pacotes de *Management Execution Systems* (MES) ou *Manufacturing Resource Planning* (MRP II)
 - Sistemas de *Statistical Process Quality Control* (SPQC)
- Produção
 - Sistemas de Escalonamento da Produção, tipicamente associados a pacotes de MES ou MRP II
 - Sistemas de Simulação de Produção
 - Diversos pacotes associados aos sistemas que realizam as operações de fabrico
- Gestão da Empresa
 - Sistemas MRP II, ou mais recentemente sistemas de *Enterprise Resource Planning* (ERP), ou ainda mais recentemente sistemas de *Supply Chain Management* (SCM).

Vamos agora analisar as características de alguns destes produtos.

4.3. Os Sistemas de CAD/CAM/CAE

Os sistemas de CAD fornecem ferramentas para o desenvolvimento, armazenamento e gestão de desenhos, esquemáticos e outras formas de modelos de produto. São frequentemente usados em quatro grandes áreas de aplicação: projecto mecânico (MCAD); projecto electrónico, incluindo circuitos integrados (ECAD), cartografia e arquitectura.

O desenho mecânico foi, historicamente, o primeiro mercado para os produtos CAD, e cobre essencialmente a modelação de forma, especificação de materiais, a documentação funcional dos componentes e a estratégia de montagem.

Tipicamente as capacidades dos sistemas de CAD incluem: criação do modelo, edição e visualização; plano de montagem do componente e dos subsistemas do componente; desenho 2-D (incluindo dimensões e tolerâncias); modelação 3-D (sólidos, *wireframe*, superfícies); anotações (tolerâncias, tipo de acabamento da superfície, materiais, etc.); documentação do projecto; metodologia de montagem; *surface blending*; e *jornalização* (versão, controlo de revisão, etc.).

Mais recentemente, começaram a ser introduzidas algumas características importantes, como sendo: a modelação paramétrica (projecto de produto em que as dimensões não são fixas); a modelação com restrições (ainda mais poderosa do que a paramétrica, porque permite especificar restrições como “estas duas superfícies planas são paralelas”, ou “o círculo A é concêntrico com o círculo B”, o que permite que se mantenham estas características quando o projecto é modificado; a modelação baseada em bibliotecas de *features* e codificação de tecnologias de grupo (GT).

Muitos sistemas de CAD são publicitados como sendo sistemas de CAD/CAM (*Computer Aided Design and Manufacturing*) porque suportam directamente algumas operações relacionadas com: a geração de programas de controlo numérico para máquinas ferramenta (*Tool Path Generation*); verificação de colisões entre ferramenta e componente(s), etc.; programas para máquinas de inspecção (CMM ou AVIS); geração de ficheiros STL (para estereolitografia) em sistemas de prototipagem rápida.

Obviamente que muitos sistemas de CAD fornecem mecanismos de ligação a pacotes de análise de engenharia (elementos finitos, aerodinâmica, tolerância, cinemática, etc.).

A maioria dos sistemas de CAD actuais tem uma série de insuficiências. Por exemplo, o projecto de configuração é quase naturalmente uma abordagem “*top-down*”, que começa pela ideia de montagem do produto, refinando-se depois os níveis de detalhe até aos componentes individuais. Infelizmente esta ideia não é implementável na maioria dos sistemas de CAD disponíveis, sendo estes mais adequados à concepção de componentes individuais (por razões históricas), seguindo-se depois a criação de modelos assembled, portanto de uma forma “*bottom-up*”.

As interligações com o CAE (por exemplo FEA) só parcialmente são automatizadas, a engenharia das tolerâncias (por exemplo quando o CAD é

paramétrico ou *feature-based*) também só funcionam na base da interpretação humana. Eles têm de ter cada vez mais ligações a sistemas de análise de engenharia (o trabalho descrito em [60]).

Na verdade a capacidade de interpretação dos computadores está ainda numa fase de infância, uma vez que eles não podem lidar com meta-conhecimento ou contexto de informação. Tomar decisões com base em informação incompleta, como os humanos fazem, é um problema proeminente nos computadores, apesar dos recentes avanços nessa área [58].

Os sistemas baseados em conhecimento poderão no futuro ter aqui um papel importante, como é descrito em [40]. A tecnologia tradicional de software não é muito adequada para o objectivo de inter-operabilidade automática. Os recentes esforços na inter-operabilidade de agentes de software [59] distribuídos (que comunicam recorrendo a ACL (*Agent Communication Language*)). Uma mensagem ACL é na realidade uma expressão KQML (*Knowledge Query and Manipulation Language*) com “argumentos” definidos em KIF (*Knowledge Interchange Format*).

A perspectiva nalgumas áreas da automação dos processos industriais deverá ser (por enquanto) a de “*how to support humans with computers*”, em vez de “*how to replace humans by computers*”.

Os sistemas de CAD começam a estar ligados a grandes repositórios de informação que são úteis na realização do produto, como catálogos de componentes, bases de dados de materiais, etc.

As normas para a troca de descrições de produto, como o STEP, são extremamente importantes. Em [61] é feito um historial e uma análise comparativa das normas que têm dominado ao longo dos tempos até ao actual STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) [62], passando por os ainda muito utilizados IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) e DFX (*Design eXchange Format*). O STEP vai ser referido mais em pormenor, pela protagonismo que tem vindo a adquirir como ferramenta de integração de informação de produto.

Existem dezenas de fabricantes de sistemas CAD (ou CAD/CAM/CAE) [63]. Alguns dos mais importantes são a PTC, com a família de produtos PRO/ENGINEER [64], a Autodesk, com a família de produtos Mechanical Desktop [65] e a Dassault Systemes, com a família de produtos CATIA [66].

4.4. Os Sistemas PDM

Antes de entrar em alguns detalhes inerentes aos sistemas de gestão de dados de produto – sistemas PDM (*Product Data Management*), será interessante analisar

o modelo de referência de actividades industriais proposto em [38] e sumariado na Figura 12.

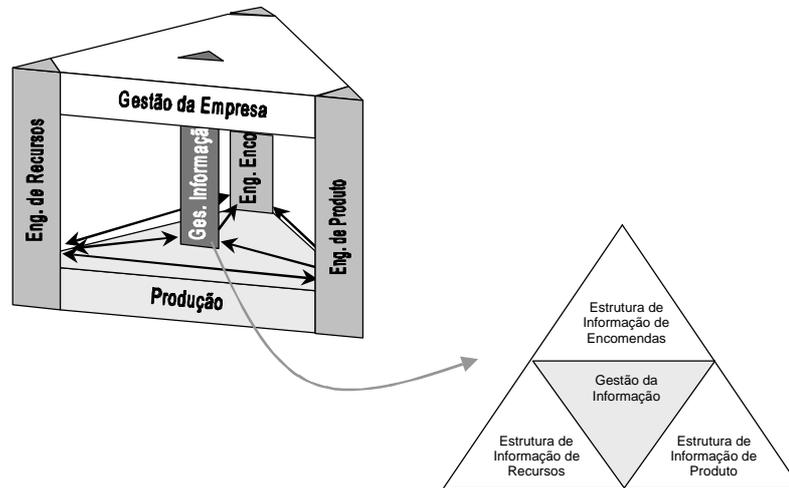


Figura 12

Em relação ao modelo apresentado na figura, convém fazer uma breve descrição das diferentes entidades por forma a melhor fazer a ponte com a descrição de actividades até agora feita.

Assim, no referido modelo a gestão de empresas controla as ordens dos clientes. É responsável pelas decisões estratégicas relacionadas com a gama de produtos que produz e com os processos e recursos (no sentido mais lato) necessários para o produzir. A engenharia de produto refere-se a todas as actividades relacionadas com o ciclo de vida de um determinado produto, no que diz respeito ao projecto e desenvolvimento de um tipo de produtos e suas variantes, desde os requisitos funcionais até à sua disponibilização. A engenharia das encomendas relaciona-se com aquelas actividades que relacionam uma encomenda de um cliente com um produto (ou variante) específico. É tarefa desta engenharia determinar ordens de produção e decidir quando é que um lote de produtos deverá ser processado e com que recursos. A engenharia de recursos tem a ver com os aspectos de ciclo de vida dos recursos necessários à execução das actividades de produção. Inclui a especificação, projecto, desenvolvimento, aquisição, preparação uso e manutenção dos recursos da empresa. A produção está relacionada com a execução propriamente dita dos planos gerados pelas tarefas de engenharia.

Este modelo não é totalmente consistente com a abordagem às actividades feita na Secção 3. O aspecto crucial que se pretende realçar ao introduzir aqui este modelo é o de reforçar a opinião de que a gestão de informação é o núcleo das

actividades industriais, e a opinião de que a disponibilidade e acessibilidade de informação é preferível em relação a uma pura troca de dados.

O objectivo dos sistemas de gestão de dados de produto é integrar os pacotes CAx, contribuindo para ultrapassar um problema que na bibliografia aparece referenciado como “Ilhas de Automação” [69], e ilustrado na Figura 13.

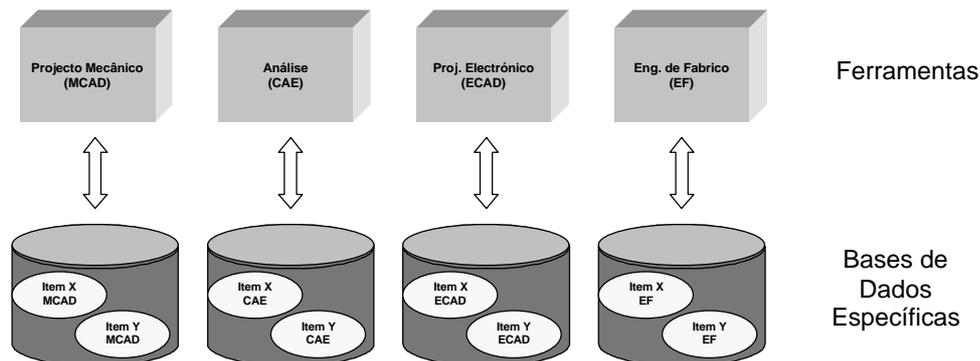


Figura 13

De notar que *per si* as bases de dados e os sistemas de bases de dados para engenharia apresentam requisitos importantes, que têm a ver com a natureza dos dados de engenharia. Em [70] são identificadas algumas dessas características, que têm a ver, entre outros aspectos, com: estruturas de dados não uniformes e imprevisíveis; necessidades de redes de estruturas de dados; relações múltiplas das estruturas de dados e essas estruturas podem participar em “papeis” muito diferenciados; necessidade de algoritmos complexos para a instanciação dos dados.

Em [67] os sistemas PDM são definidos como sendo o conjunto de processos para transmitir e gerir dados de produto, dados esses que são criados e detalhados pelas diferentes áreas da empresa e durante o ciclo de vida do produto. De um modo mais geral, os sistemas PDM podem ser definidos como sendo uma tecnologia de *software* que gere todas as informações e processos relativos ao ciclo de vida de um produto, visando explorar ao máximo os benefícios da engenharia concorrente [68].

Vários autores dividem de modo diferente as funcionalidades de um sistema PDM. Uma das definições mais aceites foi a proposta em [71], que divide as funcionalidades de sistemas PDM em funções principais e funções complementares. As funções principais são a de “cofre” de dados (*vault*), que inclui a gestão de *workflow*, a gestão das estruturas de dados dos produtos; a identificação e classificação de itens; a gestão de projectos. As funções complementares visam suportar actividades de comunicação e notificação, o

transporte e conversão de dados, e a visualização e introdução de comentários (*markup*) em documentos. Pretende-se atingir a seguinte realidade (por contraposição à representada na Figura 13):

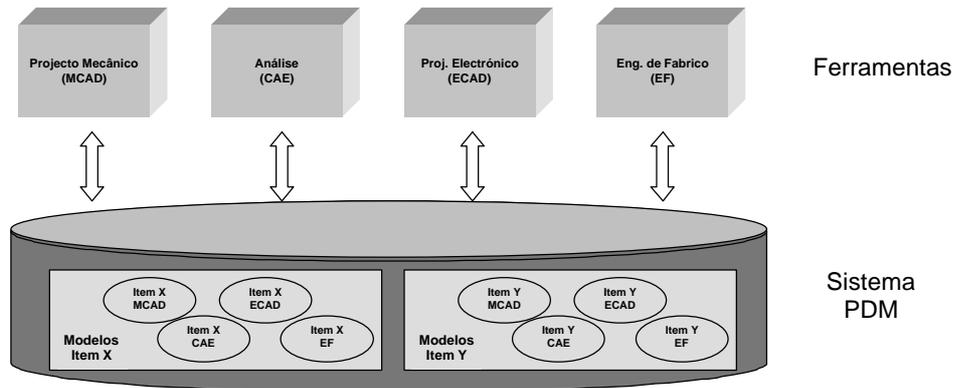


Figura 14

Normalmente está associado ao PDM uma base de meta-dados (dados sobre os dados), pelo que as interações entre as aplicações/utilizador (serviços de administração PDM) e o sistema PDM são as seguintes [72].

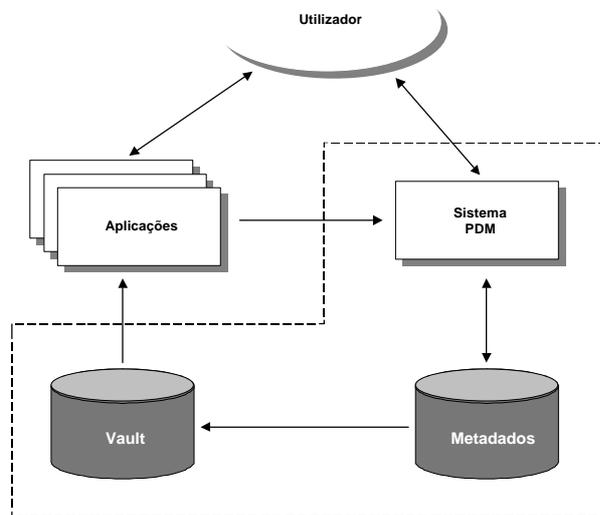


Figura 15

Na realidade este tipo de sistemas pode ter um elevado grau de complexidade, que resulta da heterogeneidade de representação de dados utilizada pelas diferentes aplicações de engenharia, daí a necessidade da meta-base, que realiza (indirectamente) a função representada no lado esquerdo da Figura 16 (adaptada de

[61]), figura essa que permite ilustrar a eficiência que uma troca de dados em formato neutro pode trazer...

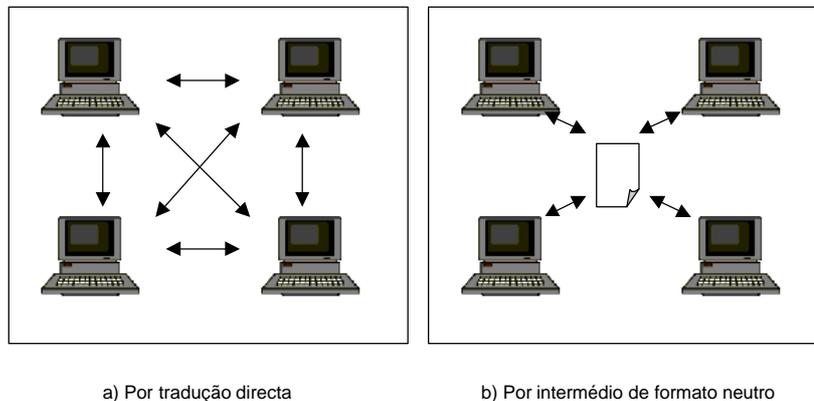


Figura 16

Existem inúmeros produtos PDM no mercado [73]. O PRO/INTRALINK da PTC [74] e o Mataphase [75] da SRDC são alguns dos mais importantes.

Historicamente os produtos PDM emergiram separadamente dos produtos CAD. Por razões óbvias os produtos CAD começaram a trazer “extensões” ditas PDM. É também usual hoje em dia os pacotes PDM virem associados aos produtos ERP ou SCM.

É a propósito da complexidade de implementação de PDM, resultantes da não utilização de formato neutro de troca de dados de produto entre as diferentes aplicações envolvidas na realização de produto, que é oportuno falar um pouco mais em detalhe do STEP [62, 76]. A motivação vem a propósito de podermos considerar que com a abordagem representada na Figura 14 é conseguida uma “associação de modelos” mas não uma “integração de modelos”.

Tecnologias Seleccionadas: STEP e EXPRESS

O STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) corresponde à norma ISO 10303, “*Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange*”, 1994, produzida pelo ISO TC184/SC4.

A norma especifica uma linguagem de definição de dados, o EXPRESS [62], formas de implementação (troca de ficheiros e APIs), recursos de integração (IRs) e protocolos de aplicação (específicos dos domínios de aplicação).

O EXPRESS é uma linguagem formal de modelização de informação,

interpretável e de implementação neutra. Modeliza estruturas de dados, relações e restrições. Utiliza conceitos importados do Ada 95, Algol, C, C++, Euler Modula-2, Pascal, PL/1 e SQL e tem “conotações” com a orientação ao objecto (OO) - objectos STEP. O EXPRESS é parte do STEP, e por isso corresponde à norma internacional ISO 10303-11.

Exemplo de EXPRESS:

```
ENTITY approval_person_organization;
    person_organization : person_organization_select;
    authorized_approval : approval;
    role                 : approval_role;
END_ENTITY; -- approval_person_organization

ENTITY approval_relationship;
    name                 : label;
    description          : OPTIONAL text;
    relating_approval    : approval;
    related_approval     : approval;
END_ENTITY; -- approval_relationship

ENTITY approval_role;
    role                 : label;
    DERIVE description : text := get_description_value (SELF);
    WHERE WR1 : SIZEOF (USEDIN (SELF, 'PDM_SCHEMA.' +
'DESCRIPTION_ATTRIBUTE.DESCRIBED_ITEM')) <= 1;
END_ENTITY; -- approval_role
```

O STEP suporta troca de ficheiros (também conhecidos por “STEP File” ou “Part 21 File”). Os ficheiros STEP têm codificação clara de texto (basicamente é ASCII). Cada linha do ficheiro é uma instância da entidade, às quais é atribuído um número arbitrário (a “chave”). A “chave” é utilizada para referência entre entidades.

O STEP define uma norma de acesso aos dados: a SDAI (*Standard Data Access Interface*). A SDAI é uma API que permite o acesso a objectos STEP existentes em bases de dados ou aplicações. A SDAI suporta linguagens de programação como o C, C++, CORBA (IDL) ou Java.

Exemplo de um ficheiro STEP (“Part 21 File”)

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('STEP conformance test data','AP203 instantiation -
bill of material UoF'),'2;1');
FILE_NAME('b_o_m1.p21','1993-07-29 T11:23:12',
('M. Green','J. Black'),
('New Ventures, Inc.',
'P.O. Box 2222',
```

```

'Middleton',
'Michigan',
'50800'), 'NIST Data Probe, Release March 1993', 'conformance test
suite', 'K. H. White');
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA;
#1=PRODUCT('11111', 'Solid Cube', 'Description for part 11111', (#2));
#2=MECHANICAL_CONTEXT('detailed design', #3, 'mechanical');
#3=APPLICATION_CONTEXT('Control the configuration of three dimensional
design');
#300=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('AP definition
status', 'config_control_design', 1994, #3);
#4=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#5, #8, (#1));
#5=PERSON_AND_ORGANIZATION(#6, #7);
#6=PERSON('333-003', 'White', 'K.', ('H.'), $, $);
#7=ORGANIZATION('NVI-Michigan', 'New Ventures, Inc.', 'An engineering and
research center');
#8=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_owner');
#9=PRODUCT_RELATED_PRODUCT_CATEGORY('detail', 'Part Type for product
11111', (#1));

```

O STEP define uma série de protocolos de aplicação (APs). Os APs definem a utilização (semântica) dos dados STEP para um determinado contexto de aplicação. Os APs definem completamente o modelo da actividade suportada, os requisitos de informação modelizados com recurso de terminologia específica do domínio e um modelo EXPRESS que interpreta os requisitos de informação por utilização daquilo que em STEP se designam recursos integrados (IR).

Os IR são modelos abstractos que funcionam como base para todos os APs. Por exemplo o ISO 10303-42 (Parte 42) define as estruturas de dados abstractas relacionadas com a representação geométrica e topológica, o 45 as dos materiais e o 46 o da visualização.

Por isso, pode-se representar a arquitectura do STEP da seguinte forma:

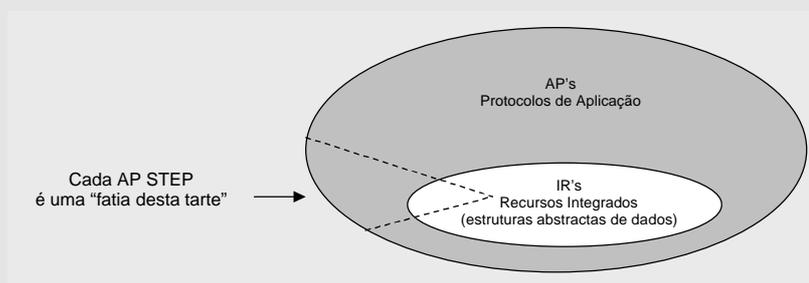


Figura 17

O processo de normalização e extensão do STEP tem sido progressivo mas activo desde 1994. Uma das mais recentes inovações foi a introdução do EXPRESS-X que permite integrar e gerir diferentes STEP AP's. Assim passa a ser possível “*Master Schemas*”, por exemplo um “*Master Product Model*” a partir de esquemas STEP AP disciplinares: AP 203 (Parte 203) para MCAD, AP 204 para CAE, etc. (alguns ainda drafts de normas ou emergentes).

De uma forma resumida, o resultado é que a “associação” patente na Figura 14 passa a “integração” (PDM “Inteligente”):

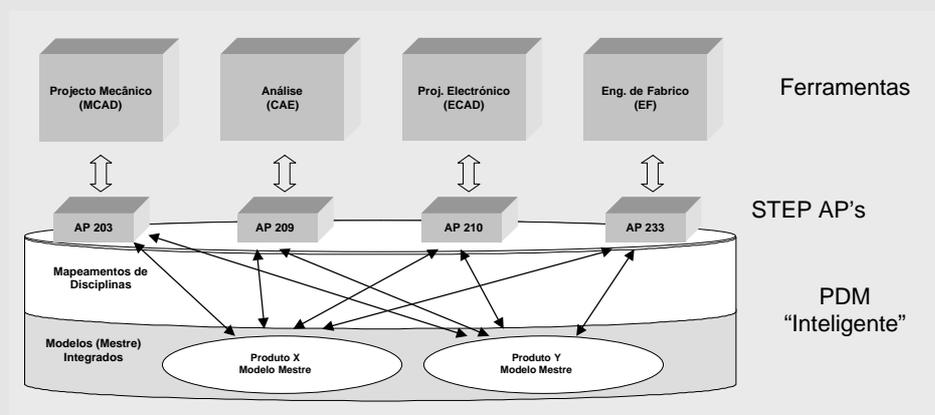


Figura 18

O que corresponde a uma implementação STEP do modelo preconizado na Figura 15.

4.5. Os Sistemas MES

Os sistemas de planeamento de processo (CAPP) e escalonamento da produção inserem-se usualmente na categoria de dos pacotes de software conhecidas como sistemas de execução de fabrico - MES (*Manufacturing Executions Systems*) [78]. Normalmente são também incluídos neste tipo de pacotes o software de monitorização fabril (controlo de planeamento) e gestão da qualidade.

Já foi referida a problemática inerente ao escalonamento *Job-Shop*. O planeamento do processo é também uma tarefa complexa. Já foram extensamente referidas as vantagens da integração das aplicações relacionadas com a engenharia de fabrico (nomeadamente o CAPP) e as aplicações relacionadas com a engenharia de projecto (nomeadamente o CAD).

Normalmente o planeamento de processo e o planeamento da produção em sistemas industriais são duas actividades sequenciais e distintas. Contudo, as

decisões feitas durante o planeamento do processo, por exemplo a selecção de máquinas e a sequência de tarefas, restringem as possíveis escolhas para optimização durante a fase de planeamento da produção. Por outro lado, o planeamento do processo e o escalonamento podem ter conflito de objectivos: tecnologia necessária vs. utilização de recursos.

A inter-operatibilidade das aplicações de software de planeamento da produção com as de planeamento de processo é no entanto relativamente mais complexa do que a desta última com a engenharia de processo. Na essência a informação de processo é utilizada de forma diferente, não sendo por isso surpreendente que a representação da informação de processo nas aplicações seja também diferente. A grande dificuldade no desenvolvimento de uma norma para troca de informação de processo é que muitas vezes as aplicações associam significados diferentes termos representando informação.

Por exemplo, no caso de *workflow* o termo recurso é usualmente conotado com a informação que é necessária para tomar uma decisão. Num sistema de planeamento de processo, recurso significa a pessoa ou a máquina que vai executar uma determinada tarefa. Se se pretendesse integrar estas duas aplicações a abordagem não ponderada seria mapear os dois recursos, o que não traria bons resultados.

A PSL (*Process Specification Language*) [79, 80] está a ser desenvolvida tendo em vista a obtenção de uma linguagem neutra e normalizada para especificação de processo e servir de “língua secundária” a aplicações onde a informação de processo seja relevante. Esta linguagem de troca de dados é única devido às definições semânticas formais (ontologia) em que ela assenta. Desta forma explícita e não ambígua a troca de informação pode ser conseguida sem ser com base em suposições ou mapeamentos subjectivos. Por que é que as duas aplicações representadas na Figura 19 têm de partilhar a sua semântica, isto é os significados das suas respectivas terminologias?

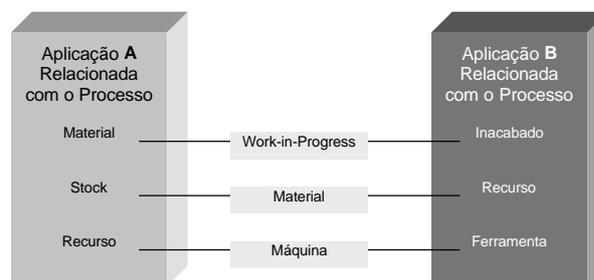


Figura 19

Tecnologia Selecionada: PSL

O PSL baseia-se em ontologias. Uma ontologia é uma definição formal de uma entidade no seu domínio: as propriedades que possui; as relações em que participa; as restrições a que está sujeita; os padrões de comportamento que exhibe [81]. Todos os conceitos na terminologia do PSL são definidos utilizando KIF, já anteriormente mencionado [59].

Que benefícios pode o utilizador ter com o PSL? Em [82] são relatados os sucessos de (1998) de troca de informação de processo entre a ferramenta de modelação de processos ProCAP [83] e a ferramenta de escalonamento ILOG [84] e o sucesso de (2000) na troca de dados de processo entre a ferramenta de planeamento de processo MetCAPP [85] e o pacote de simulação Quest [86].

Conceitos inerentes ao PSL:

- Entities:
 - activity, activity-occurrence, timepoint, object
- Relations:
 - before, between, beforeEq, betweenEq, is-occurring-at, participates-in, exists-at
- Functions:
 - Beginof, endof

Exemplo de ontologia PSL definida em KIF:

```
(defrelation duration (?a ?d) :=
  (forall (?t1 ?t2)
    (=> (and (= ?t1 (Beginof ?a))
              (= ?t2 (Endof ?a)))
          (= ?d (time_minus ?t2 ?t1))))))
```

Exemplo de tradução de definições:

O conceito *ilcActivity* no ILOG é mapeado para o conceito *activity* do PSL se e só se *activity* é simultaneamente *primitive* e *nondet_res_activity*.

```
(forall (?a)
  (=> (and (nondet_res_activity ?a)
            (primitive ?a))
        (<=> (ilcActivity ?a)
              (activity ?a))))
```

5. Um Novo Modelo de Negócio: o e-Manufacturing

“Once upon a time, the plant floor was isolated from the rest of the enterprise - operating autonomously and out of sight from the rest of the company and, in particular, from the scrutiny of a company’s shareholders. No more. PLANT FLOOR, MEET WALL STREET.” [87]

5.1. A Inovação no Início do Séc. XXI

Tradicionalmente, a fábrica era o sangue vital de qualquer empresa fabril, o sítio onde a mais valia era criada.

Evidentemente continua a ser assim hoje em dia, não obstante este mundo maluco das “dot.com”.

Mas, à medida que as indústrias se consolidam e re-estruturam, algumas empresas mantêm-se como as “produtoras” dos bens, enquanto que outras se posicionam, por exemplo, a jusante na cadeia de valor para comercializarem esses produtos. Em quase todas as indústrias, organizações fortemente integradas com a cadeia de valor, como o popular exemplo da *Dell Computer* e a sua extensa lista de *web-suppliers*, estão a emergir. Neste novo paradigma a ligação da planta fabril à realidade mais vasta que é a cadeia de valor torna o acesso à informação cada vez mais crítico.

A Internet e o *e-Commerce* estão a acelerar essa tendência.

No final dos anos 90 dois fenómenos surgiram que abalaram os tradicionais métodos de gestão de empresas industriais. Primeiro a Internet como ferramenta de comércio e habilitadora de tecnologia. Segundo, um consumidor muito, mesmo muito, instável.

O consumidor mudou muito nos últimos anos, e não vacila facilmente com o que lhe é dito pelo vendedor ou com a publicidade. A postura do consumidor dos nossos dias tende a ser uma de controlo, habilitada pelo poder da Internet como ferramenta de compra e fonte de informação: “Eu posso encomendar o que eu quiser – pela Internet, numa loja ou de outra forma qualquer. Eu posso pedir que incluam as características que eu quero, e espero que me seja entregue quando eu precisar dele. Se não, vou a outro sítio qualquer para obter aquilo de que eu preciso.”

A capacidade de comprar *on-line* tem sido o motor da erupção económica do *e-Business*. As empresas têm subido a pulso o percurso da criação de canais *e-based* para interagir e vender produtos a consumidores. E a pressão do mercado

bolsista no sentido das empresas industriais prestarem mais atenção à Internet tem intensificado ainda mais a corrida à venda *on-line*.

Mesmo que hoje em dia a primeira onda da *dot.com* mania se esteja a começar a desfazer, uma segunda onda começa a formar-se. Acabou a abordagem mais *naïf* de estabelecer um *website* e ficar a ver as ordens de compra a “cair” em catadupa (ou a não “caírem” de todo). Na próxima vaga de iniciativas de *e-Business* (e daquelas capazes de sobreviver à primeira vaga) todos terão em mente uma verdade básica: não funciona sem uma cadeia de fornecedores de excelência ligada a uma cadeia de produtores de excelência.

O que é uma empresa virtual?

“A *Virtual Enterprise* is a temporary consortium of independent member companies which come together to quickly exploit fast-changing world-wide product manufacturing opportunities” [88].

Este conceito de empresa virtual (ou estendida) ganha outra perspectiva na era da Internet, como é ilustrado na Figura 20 (para uma OEM - *Original Equipment Manufacturer*), adaptada de [89].

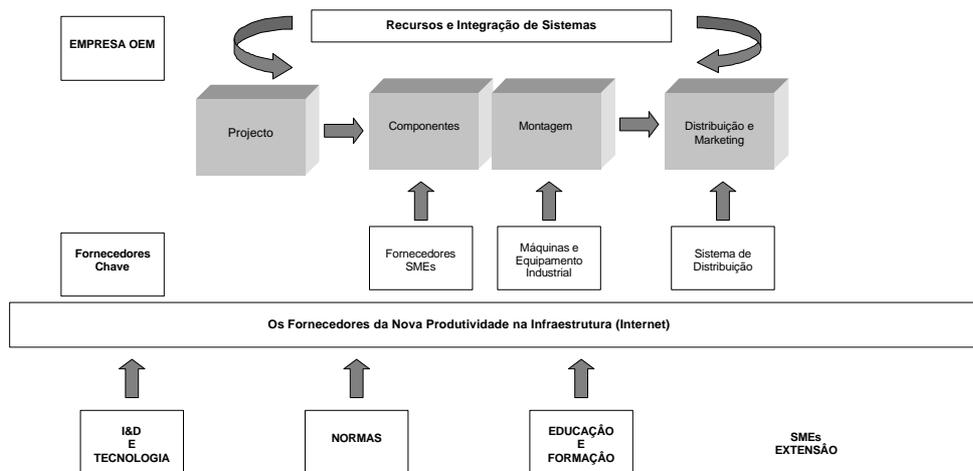


Figura 20

Durante décadas o modelo de sistema industrial foi dominado pelos princípios da produção em massa. Os componentes substituíveis e a automatização dos processos de fabrico permitiam atingir economia de escala, mas flexibilidade de concepção e produção por “medida” de produto limitada. Os movimentos de *outsourcing* e *lean manufacturing* (*time-to-market* e redução de inventário) dos anos 80 e 90 forçaram a emergência de um paradigma de gestão dominado pela qualidade total. As empresas industriais, particularmente os fabricantes de produtos

originais (OEM - *Original Equipment Manufacturers*) intensificaram a redução de custos internos transferindo funções não cruciais para fora da sua organização. O *outsourcing* move elementos críticos do processo de concepção ou produção para a cadeia de fornecedores.

A combinação destes dois atributos da era da qualidade (*outsourcing e lean manufacturing*) na era da Internet sugere um conceito um novo conceito de modelo de negócio para a produção: o *e-Manufacturing*.

A emergência do *e-Manufacturing* requer uma acrescida agilidade das empresas produtoras de bens, agilidade essa que passa forçosamente por elevados níveis de integração de sistemas.

5.2. Algumas Aplicações e Tecnologias Emergentes

Basta uma visita ao repositório das comunicações que foram apresentadas na edição de 2000 da conferência “*Information Technologies for Engineering and Manufacturing*” (ITEM 2000, [91]) para nos apercebermos do fervilhar de aplicações e tecnologias emergentes no ambiente dos sistemas de produção industrial.

Por exemplo, um dos aliciantes da conectividade oferecida pela *Internet* é o de agilizar o trabalho de engenharia, ao potenciar a existência de grandes repositórios de dados de produto. A este nível, a tecnologia protagonista chama-se XML (*eXtended Markup Language*). Ao contrário do HTML (o responsável pela popularidade da *Internet*), o XML permite a indicação da estrutura lógica dos documentos visualizados, ao possibilitar a especificação da estrutura dos dados, sem considerações sobre como esses dados são apresentados, o que permite ultrapassar barreiras importantes. Existe também, uma outra especificação, o XSL (*eXtensible Style Language*), que permite a definição de formatos para a visualização (seja em documentos impressos, seja num *web browser*) de documentos XML (Figura 21). O processador de XML é o módulo da aplicação responsável pela leitura dos documentos XML permitindo acesso ao seu conteúdo e estrutura.

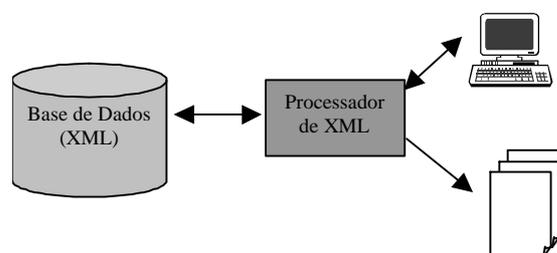


Figura 21

De uma forma sucinta, as principais diferenças do XML em relação ao HTML residem no facto de:

- o XML ser extensível (perfis podem ser criados para certas áreas);
- os documentos XML terem que ser correctamente formatados, não permitindo adaptações de informação por parte dos processadores;
- o XML ter sido criado para a representação da estrutura de informação, enquanto o HTML é vocacionado para a visualização de informação;
- o facto de o HTML ser orientado à visualização por pessoas, enquanto o XML é para ser interpretado por aplicações.

```

<Test>
  <Id>BB0699a.rtb</Id>
  <TestClass>Circular</TestClass>
  <Date>1999-06-22</Date>
  <Time>10:06:00</Time>
  <Why>Periodic</Why>
  <Machine>
    <Id>2434</Id>
    <Manufacturer>XYZ</Manufacturer>
    <Model>ABC</Model>
    <SerialNumber>123</SerialNumber>
    <Location>Shops</Location>
  </Machine>
  <Conditions>
    <Compensation>Yes</Compensation>
    <TempEnvironment>22.5</TempEnvironment>
  </Conditions>

```

Id	Class	Date	Time	Why	Mach	Cond
BB0699a.rtb	Circular	1999-06-22	10:06:00	Periodic		

Id	Manuf	Model	Serial	Loc
2434	XYZ	ABC	123	Shops

Comp.	TempEnv
Yes	22.5

Figura 22

A Figura 22 ilustra a representação em XML de informação sobre testes de equipamento. O documento XML (topo da figura) descreve a informação presente numa base de dados (em baixo). É desta forma possível trocar informação num formato normalizado, qualquer que seja a aplicação específica que gerou a base de dados. Mais ainda, é possível que os dados sejam não só trocados, como também guardados sob esta forma, e com anotações adicionais, tão importantes para as aplicações na área da engenharia de projecto.

O Java tem também vindo a ganhar protagonismo no domínio das aplicações industriais [92]. O Java permite uma grande produtividade no desenvolvimento de *software* complexo e distribuído. Simultaneamente, o Java tem um forte poder de integração, proporcionado pela plataforma virtual JVM (*Java Virtual Machine*).

Por estas razões ele facilita a integração de aplicações e sistemas computacionais, a todos os níveis do ambiente industrial, desde o nível inter-empresa até ao nível da planta fabril.

A tecnologia Java assenta em três pilares que se complementam (Figura 23). Por um lado a linguagem Java veio endereçar muitos dos problemas encontrados no C++ como linguagem de suporte ao desenvolvimento de sistemas complexos. O C++ apresenta ainda algumas das deficiências do C, com a conseqüente falta de abstracção em relação aos mecanismos de programação de baixo nível (memória dinâmica, representação de dados). No entanto, as duas grandes vantagens da tecnologia Java residem nos outros dois pilares: a JVM e o conjunto de bibliotecas disponibilizadas (API). A JVM permite o suporte a sistemas heterogéneos através do conceito de “*write once, run everywhere*”. De facto, não é necessário desenvolver programas para todas as plataformas existentes, mas sim para a JVM que abstrai a aplicação da plataforma utilizada. A API do Java, por sua vez, possui um número crescente de bibliotecas.

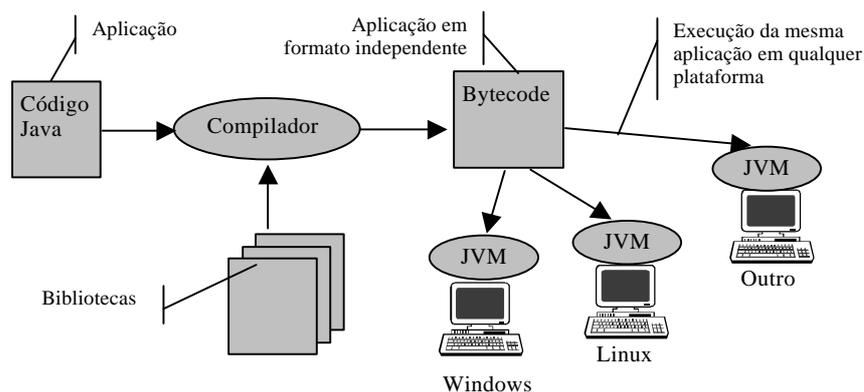


Figura 23

Para as aplicações com menores requisitos do ponto de vista temporal, o Java já é hoje em dia bastante utilizado. Portanto, é comum encontrar aplicações Java a integrar aplicações de planeamento e gestão ou em sistemas *offline*, como ferramentas de simulação e desenvolvimento. O uso do Java ao nível do processo de controlo industrial é ainda rara, devido à falta de desempenho e determinismo propiciado à execução das aplicações. É a este nível que tecnologias como RTJava [33] (extensão ao Java para suportar aplicações com requisitos temporais mais críticos) e PicoJava (processador que executa directamente código Java), são importantes para a utilização da linguagem ao nível dos sistemas computacionais de controlo.

A introdução do Java a este nível, é tanto mais importante por facilita a integração do núcleo de qualquer empresa industrial (a planta fabril) as aplicações de gestão e engenharia.

Uma das características mais relevantes dos controladores e redes de comunicação industriais utilizados no ambiente fabril é a sua dificuldade de integração, dada a grande heterogeneidade de protocolos e funcionalidades.

A combinação das vantagens do RTJava com a distribuição oferecida pelo Jini permite ultrapassar os problemas actualmente existentes. Utilizando Jini, as aplicações residentes em cada nó de uma rede industrial podem abstrair-se da heterogeneidade dos sistemas de controlo distribuídos.

É de referir o potencial da combinação do Java com o XML. Esta combinação permite a criação de aplicações que não só utilizam a mesma tecnologia a todos os níveis, como também representam a informação através de formatos normalizados e de fácil processamento, aumentando a flexibilidade e disponibilidade dos sistemas de informação industriais.

Por, último, uma referência, outra vez, aos agentes inteligentes. Eles são a tecnologia ideal para a implementação de sistemas SCM, nos quais as empresas (são mesmo) distribuídas.

6. Conclusão

É quase propositadamente que só neste momento se introduz (mais uma) sigla: CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). CIM foi durante décadas sinónimo de expoente em matéria de sistemas de produção industrial. Contudo, hoje em dia é corrente dizer-se que a abordagem CIM dos sistemas de produção industrial já teve o seu tempo de glória, tendo sido ultrapassada por novas abordagens como o TQM (*Total Quality Management*) ou hoje em dia pelo *e-Manufacturing*.

No entanto, a cadência a que aparecem novas siglas resulta em grande medida da necessidade de os “consultores” oferecerem “novos produtos”, a clientes (as empresas industriais) cada vez mais acoçados pela concorrência global, com a promessa da salvação para os problemas e desafios.

Não se pretende com isto dizer que as novas abordagens são enganosas. Pelo contrário, elas possuem conceitos valiosos que podem projectar os negócios industriais.

No entanto, se calhar, a sigla CIM ainda é actual, se for lida com uma ênfase diferente da versão original. Uma ênfase mais na integração (letra ‘I’) e menos nos computadores (letra ‘C’), e sempre considerando o sistema produtivo (a letra ‘M’) como aspecto nuclear.

Nos primórdios da sua utilização, a sigla CIM poderia, por exemplo, aparecer definida como sendo a utilização do processamento de dados electrónicos e o fluxo de informações auxiliado por computador em todos os sectores da empresa. A esta visão mais tecnológica, foi sendo acrescentada uma visão mais estratégica, no qual o CIM começa a ser entendido como um meio para aumentar a agilidade de negócios de uma empresa industrial através de uma estratégia orientada ao consumidor e uma produção flexível. Pode ser também adicionada uma visão organizacional, na qual o CIM passa a ser definido como um padrão de organização da produção, que utiliza os computadores e a automação como ferramentas para a integração de todas as fases do ciclo de vida de fabrico do produto, desde a sua concepção, até à sua comercialização. Este padrão deve ser associado às decisões nas suas vertentes de estratégia de produção, informatização e cultura técnica.

Tudo isto somado resulta num novo conceito de CIM, onde a palavra chave é info-conectividade de todos os subsistemas que protagonizam a empresa (estendida) industrial.

Por um lado, a automatização dos processos de troca de informação, incluindo os necessários mapeamentos, permite aumentar a agilidade (diminuição dos tempos

de resposta). Por outro lado, permite aumentar a qualidade das decisões, por serem tomadas com base em informação actualizada e consistente.

De qualquer forma, e se CIM for mais redutor do que Empresa Virtual, será sempre preferível o termo *e-Manufacturing*, pela sua maior conotação com o equipamento industrial:

“And in the race to e-business, one can not forget the plant floor - electronic management of the factory and the product is crucial to the e-Business effort” [90].

A planta fabril é o ponto de partida para a info-conectividade. Os sistemas de fabrico baseados em computador (máquinas NC, sistemas de controlo distribuídos, robôs, sistemas de transporte e armazenamento automático, etc.) geram abundante informação sobre produtividade, qualidade e instantes de execução temporal. E as modernas arquitecturas de automação industrial são a chave para a disponibilização daquela informação de forma eficiente.

“All agree that the e-Manufacturing term is much like the phrase, ‘e-Business’. One day, the ‘e’ will be so common it’s no longer needed. It will be manufacturing as usual” [87].

7. Referências

- [1] Costa, J., Melo, A. (1998), “Dicionário da Língua Portuguesa”, 8ª Edição, Porto Editora.
- [2] Magalhães, A., Almeida, F. (1996), “Falando de Automação”, Documento de Reflexão do DEMEGI, FEUP.
- [3] Bourne, R. (1995), “Invention in America”, Fulcrum Publishing, Golden.
- [4] Smith, M. (1981), “Eli Whitney and the American System of Manufacturing”, Pursell, C. (editor), Technology in America, MIT Press, Cambridge.
- [5] Chandler, A. (1988), “The Essential Alfred Chandler: Essays toward a Historical Theory of Big Business”, Harvard Business School Press, Cambridge.
- [6] North American Industry Classification System (NAICS), <http://www.naics.com/>
- [7] Groover, M. (1986), “Automation Production Systems and Computer Integrated Manufacturing”, Prentice-Hall International Editions.
- [8] Norman, A. (1993), “Informational Society: a Theory of Discovery, Invention and Innovation”, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [9] Bedworth, D., Henderson, M., Wolfe, P. (1991), “Computer-Integrated Design and Manufacturing”, McGraw-Hill International Editions, New York.
- [10] Adair-Heeley, C. (1991), “The Human Side of Just-in-Time: How to Make the Techniques Really Work”, AMACON, American Management Association, New York, NY, USA.
- [11] Beasley, J. “OR-Notes”
(Disponível em <http://www.ms.ic.ac.uk/jeb/or/mrp.html>)
- [12] Enterprise Resource Planning Research Center, <http://www.cio.com/foruns/erp/>
- [13] The Supply Chain Council, <http://www.supply-chain.org/main.htm>
- [14] Manufacturing and Robotics Links,
http://www.aylor.com/manufacturing_and_robots.htm
- [15] AGV Products, <http://www.agvp.com/applications.htm>
- [16] Alves, M., Tovar, E., Oliveira, J. (1998), “Towards a More Flexible Transportation System”, 8th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM'98), Portland, EUA.
- [17] Panteliuc, A., Milici, M., Tovar, E., Alves, M. (1998), “From a Line Guided to an Autonomous Vehicle: a Case Study”, actas da European Advanced Robotics Systems, Leiria, Portugal.
- [18] EFACEC Automação e Robótica, <http://www.efcaec.pt>

- [19] The Computer Vision Homepage, <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/cil/www/vision.html>
- [20] Diaz, C., Hopp, T. (1995), "Evaluation of Software for Coordinate Measuring Systems", Actas da SME Clinic & Interface '95 Symposium. (Disponível em <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/>)
- [21] Marsan, A., Kumar, V., Dutta, D., Pratt, M. (1998), "An Assessment of Data Requirements and Data for Layered Manufacturing", NITSIR 6216. (Disponível em <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/>)
- [22] IST-1999-11316 R-Fieldbus, <http://www.rfieldbus.de/>
- [23] PROFIBUS, <http://www.profibus.com/>
- [24] Tovar, E., Vasques, F., (1999), "Cycle Time Properties of the PROFIBUS Timed Token Protocol", Computer Communications, Vol. 22, No. 13, pp. 1206-1216, Elsevier Science. (Disponível em <http://www.hurray.isep.ipp.pt>)
- [25] Tovar, E., Vasques, F., Pacheco, F., Ferreira, L., "Industrial Multimedia over Factory-Floor Networks" HURRAY-TR-0124 (Disponível em <http://www.hurray.isep.ipp.pt>)
- [26] Jurrens, K. (1993), "An Assessment of the State-of-the-Art in Rapid Prototyping Systems for Mechanical Parts", NISTIR 5335. (Disponível em <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/>)
- [27] Alves, M., Brandão, V. Tovar, E. (2001), "Specification of the Manufacturing Automation Field Trial", HURRAY-TR-0130.
- [28] Eshed Robotec (1994), "ACL - Advanced Control Language", Eshed Robotec.
- [29] Lederhofer, A., Tovar, E., Alves, M. (1996), "Using MMS is not Always Difficult: the Case of a Shop-Floor Monitoring Application", actas da IMACS Multiconference on Computational Engineering and Systems Applications (CESA'96), Lille, França, pp. 490-497.
- [30] Tovar, E., *et al.*, (1995), "CCE: An Integrated Platform for Distributed Manufacturing Applications", ISBN 3-540-59060-9, Springer-Verlag, Berlin.
- [31] Veríssimo, P. Casimiro, A, Pinho, L. Vasques, F, Rodrigues, L, Tovar, E. (2000), "Distributed Computer-Controlled Systems: the DEAR-COTS", Actas do 16th IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems (DCCS'2000), Sydney, Australia, November 29-December 1, 2000, pp. 128-135. (Disponível em <http://www.hurray.isep.ipp.pt>)
- [32] RTLinux - The Realtime Linux, <http://www.rtlinux.org/>

- [33] J-Consortium, <http://www.j-consortium.com/>
- [34] Ada Power Development Resource Tools, <http://www.adapower.com/>
- [35] Pinho, M., Vasques, F., Tovar, E. (2000), “Integrating Inaccessibility in Response Time Analysis of CAN Networks”, actas do 3rd IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS'2000), Porto, Portugal, pp. 77-84.
(Disponível em <http://www.hurray.isep.ipp.pt>)
- [36] Mendes, A., Ferreira, L., Tovar, E. (2000), “Fieldbus Networks: Real-Time from the Perspective of the Application Tasks”, Actas do 3rd IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Porto, Portugal, pp. 275-282.
(Disponível em <http://www.hurray.isep.ipp.pt>)
- [37] Tovar, E., Vasques, F., (2000), “Distributed Computing for the Factory-floor: a Real-Time Approach Using WorldFIP Networks”, Computers in Industry, Vol. 44, No. 1, pp. 11-30, Elsevier Science.
(Disponível em <http://www.hurray.isep.ipp.pt>)
- [38] Wijnker, T., Lutters, D. Van Houten, F., Kals, H., (2001), “Integration of Data Management Systems with an Ontology Based Information Management System”, Actas da Computers and Information in Engineering Conference, # DECT2001/CIE-21248, Pittsburgh, USA.
(Disponível em http://www.opm.wb.utwente.nl/staff/dirk/Research/Publications_eng.htm)
- [39] Regli, W. (1995), “Automated Manufacturability Analysis: A Survey”, NISTIR 5713.
(Disponível em <http://www.nist.gov/msidlibrary/>).
- [40] Allada, V., Feng, S., Ray, S. (1997), “Development of a Message Model to Support Integrated Design and Manufacturing”, Actas International Conference on Industrial Engineering Applications & Practice, San Diego, CA.
(Disponível em <http://www.nist.gov/msidlibrary/>).
- [41] Crescenzi, P., Kann, V. (editors) (2000), “A Compendium of NP Optimization Problems”
(Disponível em <http://www.nada.kth.se/~viggo/problemlist/compendium.html>).
- [42] Jones, A., Rabelo, L. (1998), “Survey of Job Shop Scheduling Techniques”, NISTIR.
(Disponível em <http://www.nist.gov/msidlibrary/>).
- [43] ESPRIT AMICE Consortium (eds.), (1991), “CIMOSA: Open System Architecture for CIM”, Segunda Edição, Springer-Verlag.
- [44] Tham, K, “CIM - OSA: Enterprise Modelling”.

- (Disponível em <http://www.eil.utoronto.ca/entmethod/cimosa/cim.html>).
- [45] Williams, T. (1994), “The Purdue Enterprise Reference Architecture”, *Computers in Industry*, Vol. 24, Nº 2-3.
- [46] Rathwell, G., “Introduction to PERA”.
(Disponível em http://www.pera.net/Ind_PERA.html).
- [47] IFIP-IFAC Task Force (1999), “GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology”. versão 1.6.3.
(disponível em <http://www.cit.gu.edu.au/~bernus/taskforce/geram/versions/geram1-6-3/v1.6.3.html>).
- [48] The National Institute of Standards and Technology (NIST), <http://www.nist.gov/>
- [49] Manufacturing Systems Integration Division (MSID), do MEL-NIST, <http://www.mel.nist.gov/msid/>
Uma das mais importantes valias do *Website* da MSID é o seu repositório de publicações on-line (<http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/>). Tendo disponíveis centenas de publicações que cobrem todo o período de actividade da divisão (de 1982 até à actualidade), é lá que se podem encontrar disponíveis para *download* algumas das mais citadas (ver ResearchIndex - The NECI Scientific Literature Digital Library - <http://citeseer.nj.nec.com/>) publicações na área.
- [50] Barkmeyer, E. (editor) (1996), “SIMA Reference Architecture, Part 1: Activity Models”, NISTIR 5939.
(Disponível em <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/>).
- [51] Barkmeyer, E., Hopp, T., Rinaudot, G. (editores) (1995), “Requisite Elements, Rational, and Technology Overview for the Systems Integration for Manufacturing Applications (SIMA) Program”, NISTIR 5662.
(Disponível em <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/doc/sima-study/bakstudy.htm>).
- [52] FIPS183 (1993), “Integration Definition for Function Modelling (IDEF0)”, NIST.
(Disponível em http://www.idef.com/Downloads/free_downloads.html).
- [53] Fowler, J., Luce, M. (1996), “Systems Integration for Manufacturing Applications Program 1995 Annual Report”, NISTIR 5839.
(Disponível em <http://www.nist.gov/msidlibrary/>).
- [54] Fowler, J. (1999), “Systems Integration for Manufacturing Applications Program 1998 Annual Report”, NISTIR 6339.
(Disponível em <http://www.nist.gov/msidlibrary/>).
- [55] Fowler, J., Carlisle, M. (2001), “Systems Integration for Manufacturing Applications Program 1999-2000 Biennial Report”, NISTIR 6721.
(Disponível em http://www.nist.gov/msid/sima/99_00report_lo.pdf).

- [56] Petri Nets World, <http://daimi.au.dk/PetriNets/>
- [57] Tovar, E., (1994), Apontamentos das Aulas de Informática Industrial.
(Disponível em <http://www.dei.issep.ipp.pt/~emt>).
- [58] Sousa, P., Ramos, C., Neves, J. (1999), “Manufacturing Entities with Incomplete Information”, Actas 2nd International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems (IMS-Europe'99), pp. 185-193.
(Disp. em <http://www.dei.issep.ipp.pt/~psousa/papers/IMS99/psousa-IMS99.zip>).
- [59] Genesereth, M., Ketchpel, S. (1994), “Software Agents”, Communications of the ACM, Julho.
(Disponível em <http://logic.stanford.edu/sharing/papers/agents.ps>).
- [60] Tamburini, D. (1999), “The Analyzable Product Model Representation to Support Design-Analysis Integration”, Tese de Doutoramento, Gatech, EUA.
(Disponível em <http://eislab.gatech.edu/>).
- [61] Fowler, J. (1999), “Systems Integration for Manufacturing Applications Program 1998 Annual Report”, NISTIR 6339.
(Disponível em <http://www.mel.nist.gov/msidlibrary/>).
- [62] STEP Application Handbook (2000)
(Disponível em http://step.nasa.gov/docs/STEP_Application_Handbook.pdf).
- [63] The Ultimate CAD Directory, <http://www.tenlinks.com/CAD/>
- [64] Introducing PRO/Engineer 2001,
(<http://www.ptc.com/products/proe/2001/index.htm>)
- [65] Autodesk Mechanical Desktop, <http://www.autodesk.com/products/desktop/>
- [66] CATIA, <http://www.dsweb.com/solutions/html/catweb.htm>
- [67] Picosz, P. (1997), “Product Data Management in the Product Development Process”, Tese, Universidade Técnica de Chalmers, Suécia.
- [68] Guerrero, V., Rozenfeld, H. (1999), “Proposta de Classificação de Sistemas PDM”, XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (COBEM 99).
(Disponível em <http://www.numa.org.br/grupoei/publications.htm>).
- [69] Camarinha-Matos, L. (2001), “Integração de Sistemas de Manufatura - das Ilhas de Automação às Empresas Virtuais”, Ingenium, 2ª Série, Nº 56, págs. 68-74.
- [70] Morris, K., Mitchell, M., Dabrowski, C., Fong., E. (1993), “Database Management Systems in Engineering”, The Encyclopedia of Software Engineering, John Wiley & Sons.
(Disponível em <http://www.nist.gov/msidlibrary/>).
- [71] CIMdata, (1996), “Product Data Management: the definition, a introduction to concepts, benefits, and terminology”.

- [72] Gascoigne, B., (1995), “PDM: the essential technology for concurrent engineering, World Class Design to Manufacturing”, V. 2, No. 1, p.38-42.
- [73] The Ultimate CAD Directory, Document/Product Management, <http://www.tenlinks.com/CAD/products/edm.htm>
- [74] Pro/INTRALINK Workgroup Manager Datasheet, http://www.ptc.com/products/windchill/engineering/ds_prointra.htm
- [75] SDRC, Introducing Metaphase, <http://www.sdrc.com/metaphase/index.shtml>
- [76] Nasa Step Central, <http://step.nasa.gov>
- [77] Nasa Step Centre, “IGES Translation Notes” (Disponível em http://www.nasa.gov/application_notes/iges.html).
- [78] Manufacturing Information Systems: The One Stop Information Source, <http://www.qualitydigest.com/sept98/html/mes.html>
- [79] Schlenoff, C., et al. (2000), “The Process Specification Language (PSL) Overview and Version 1.0 Specification”, NISTIR 6459. (Disponível em <http://www.mel.nist.gov/psl/>).
- [80] Kiritsis, D., Xirouchakis, P. Gunther, C. (1999), “Petri Net Representation for the Process Specification Language - Part 1: Manufacture Processing Planning”, CAD/CAM Laboratory, EPFL, Suíça. (Disponível em <http://www.mel.nist.gov/psl/pubs.html>).
- [81] Uschold, M., Gruninger, M. (1996), “Ontologies: Principles, Methods, and Applications, Knowledge Engineering Review, Vol. 11, pp. 96-137.
- [82] Gruninger, M. (2000), “The Process Representation Language”, Information Technology for Engineering and Manufacturing (ITEM'2000), Gaithersburg, EUA. (Disponível em <http://www.mel.nist.gov/div826/msid/item2000/item2000.htm>)
- [83] ProCAP Project Management, <http://www.procap.nl/>
- [84] ILOG, <http://www.ilog.com/>
- [85] MetCAPP, <http://www.tatatechnologies.com/eagsp.htm>
- [86] Quest Software, <http://www.quest.com/index.asp>
- [87] Rockwell Automation (2000), Making Sense of e-Manufacturing: a Roadmap for Manufacturers”, White Paper. (Disponível em <http://www.automation.rockwell.com/whitepaper/whitepaper.html>)
- [88] National Industrial Information Infrastructure Protocols (NIIIP), <http://www.niiip.org/>
- [89] NACFAM (2001), “Exploiting E-Manufacturing: Interoperability of Software Systems Used By U.S. Manufacturers”, White Paper, National Coalition for Advanced Manufacturing (NACFAM), <http://www.ncfam.org>

- [90] AMR Research (2000), “How and Why You Will Use e-Manufacturing System”, AMR Research, Inc.
- [91] ITEM (2000), Repositório de Comunicações da “Conference on Information Technology for Engineering and Manufacturing”,
<http://www.mel.nist.gov/div826/msid/sima/item2000.htm>
- [92] JISA (1999), “Java Technology for Networked, Real-Time and Embedded Technologies”, <http://www.jisa1999.com>