

# A Integração dos Sistemas Computadorizados no CCP - Centro de CIM do Porto

Prof. Franquelim F. Ferreira, *Director de Projecto do CCP, Professor da FEUP*

## Sumário

*O CCP – Centro de CIM do Porto dispõe de uma Plataforma de Fabrico Integrado por Computador (CIM), cuja arquitectura funcional, conteúdo das células, especificação dos equipamentos e integração foram completamente desenvolvidos pela sua equipa de investigadores. Neste trabalho, descreve-se pormenorizadamente a constituição da plataforma CIM do CCP, o seu funcionamento integrado, a integração das várias células e as opções que estiveram na base da sua especificação. Adicionalmente, analisam-se as soluções adoptadas e discutem-se as vias de desenvolvimento futuro para as áreas de trabalho associadas à plataforma CIM do CCP.*

## 1. Introdução

O CCP - Centro de CIM do Porto é uma instituição privada, sem fins lucrativos, dedicada à disseminação das tecnologias CIM na indústria portuguesa. Foi criado em finais de 1990 por iniciativa da Universidade do Porto, secundada por um número significativo de empresas industriais de diferentes sectores.

A aprovação, em meados de 1991, do Projecto ESPRIT 5629, integralmente subsidiado pela Comissão Europeia, veio facilitar a consecução dos objectivos inicialmente formulados pelo CCP:

- criação de uma Plataforma CIM de apoio à disseminação do uso das tecnologias da informação pela indústria portuguesa;
- desenvolvimento de uma estratégia de formação em tecnologias CIM;
- preparação das suas estruturas com vista a assegurar o autofinanciamento das suas actividades, numa fase posterior.

Este projecto foi concluído e aprovado pela Comissão Europeia, em Outubro de 1995.

No desenvolvimento deste projecto, o CCP assumiu uma opção fundamental que se veio a revelar altamente frutuosa. Assim, no que respeita à concretização da plataforma de fabrico integrado por computador, recusou a solução de comprar uma instalação "chave na mão" preferindo o envolvimento íntimo na definição da arquitectura funcional, na decisão do conteúdo das várias células, na especificação e escolha dos equipamentos e na sua integração.

Esta decisão estratégica permitiu dotar o CCP de uma equipa de investigadores experimentados e com um nível elevado de conhecimentos nas tecnologias CIM.

As actividades do CCP podem ser agrupadas nas seguintes quatro grandes áreas:

- Projectos de I&D
- Contratos industriais
- Produção industrial
- Formação e treino

O empenhamento do CCP em Projectos de I&D, nacionais e de cooperação internacional, permite-lhe aprofundar o *know-how* dos seus investigadores e, desta forma, melhor cumprir os contratos industriais que celebra com empresas para o desenvolvimento de soluções para os seus problemas específicos.

Por outro lado, este *know-how* acrescido e a plataforma CIM conferem ao CCP a necessária qualificação para levar a cabo a formação avançada de recursos humanos das empresas em novas tecnologias de produção.

Finalmente, ao realizar produção industrial, o CCP desenvolve o seu conhecimento dos problemas do fabrico real, bem como assegura, da melhor forma, a manutenção do seu equipamento.

## 2. Plataforma de Fabrico Integrado por Computador do CCP

A Plataforma de Fabrico Integrado por Computador do CCP é constituída por três áreas principais:

- Planeamento e Gestão da Produção
- Projecto e Simulação
- Fabrico

que se articulam segundo a arquitectura ilustrada na fig. 1.

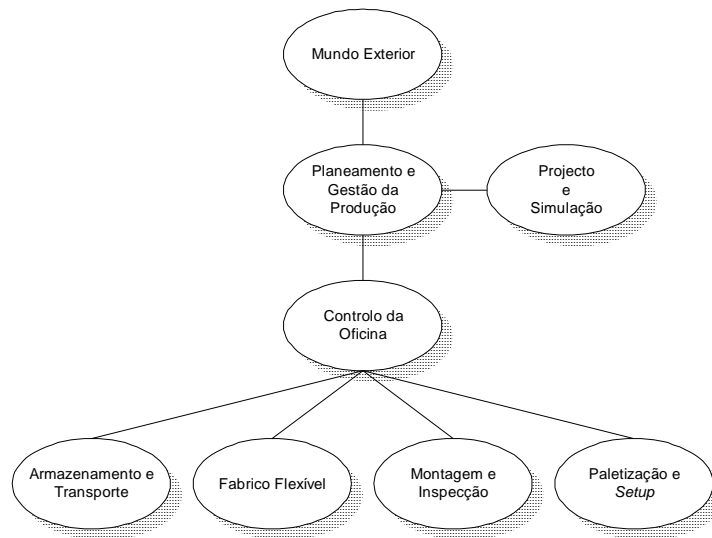


Fig. 1 - Arquitectura da Plataforma de Fabrico Integrado por Computador do CCP

### 2.1. Planeamento e Gestão da Produção

A área de Planeamento e Gestão da Produção está equipada com o *software* TRITON (Baan), instalado numa estação de trabalho IBM.

Além do planeamento e gestão da produção, este sector é também o responsável por todos os contactos com o exterior, seja o lançamento de ordens de compra, seja o despacho dos produtos finais. Encarrega-se ainda da gestão dos recursos a médio e a longo prazo e de tarefas de tratamento de informação.

### 2.2. Projecto e Simulação

Esta área, que é constituída por um sector de CAD e um sector de CAM, é responsável pela preparação da produção, executando tarefas desde o projecto do produto até ao planeamento dos processos de fabrico e à sua simulação.

O sector de CAD dispõe do *software* Pro/Engineer (PTC), utilizado no projecto das peças, instalado numa estação de trabalho SUN SPARCstation 20.

O sector de CAM está equipado com os seguintes recursos:

- *software* Intellipost (AI), para geração dos programas para as máquinas CNC,
- *software* IGRIP (Deneb Robotics, Inc.), para simulação e programação *off-line* dos robôs existentes, e
- *software* QUEST (Deneb Robotics, Inc.) para a simulação do processo produtivo e escolha das melhores filosofias de produção.

O primeiro está instalado numa estação de trabalho SUN SPARCstation 10 e os segundos numa Silicon Graphics Indigo II.

### 2.3. Fabrico

A área de Fabrico é responsável pelas actividades físicas relacionadas com a produção e é constituída por quatro células:

- Paletização e Aferição de Ferramentas
- Fabrico Flexível
- Montagem
- Armazenamento e Transporte de Materiais

A localização destas células na zona da área de Fabrico está ilustrada na fig. 2.

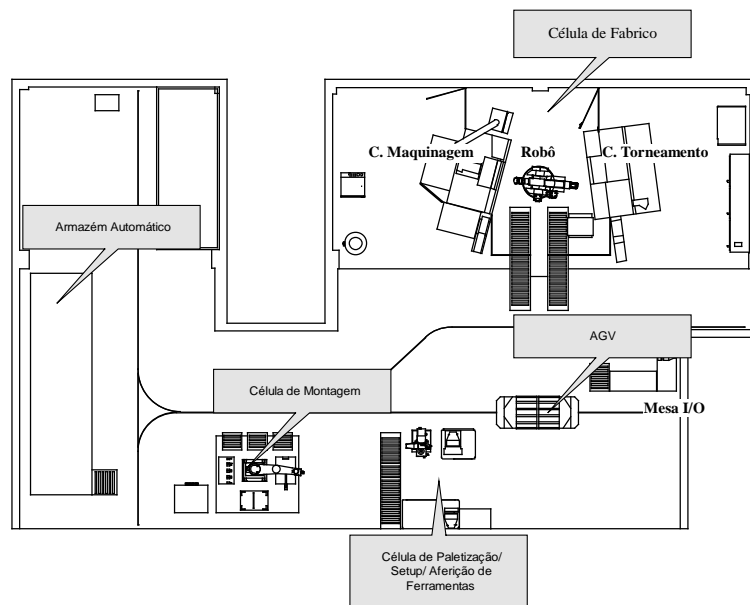


Fig. 2 - Plano da área de Fabrico

O controlo das actividades na área de Fabrico processa-se em três níveis:

- nível da planta fabril
- nível da célula
- nível da unidade de produção

O nível da planta fabril é responsável pelo escalonamento e despacho das ordens de fabrico para as células e pela sua monitorização. É também responsável pelo fluxo de materiais e pela sincronização das diversas tarefas que decorrem na área de Fabrico.

O nível da célula sincroniza as tarefas que decorrem dentro desta; recebe do servidor de ficheiros a informação necessária para o funcionamento da célula e recolhe o *feedback* das máquinas.

Finalmente, o nível da unidade de produção (por exemplo, uma máquina-ferramenta) executa as ordens recebidas do nível de célula respectivo e envia para este a informação necessária à sua monitorização e controlo.

Cada uma das células tem o seu próprio controlador que, de acordo com a arquitectura da plataforma de fabrico, só comunica com o controlador da planta fabril. Este controlador foi expressamente desenvolvido pela CSC Aerospace Systems Inc. (ex-British Aerospace Computer Aided Manufacturing) e pelo CCP, baseado em CIMITAR/DOS, e encontra-se instalado numa instalação de trabalho SUN SPARCstation 10.

### 2.3.1. Célula de Paletização e Aferição de Ferramentas

Na célula de Paletização e Aferição de Ferramentas optou-se pelo funcionamento manual com vista a evitar a complexidade excessiva inerente à sua automatização.

As tarefas que têm lugar nesta célula são:

- montagem de conjuntos de ferramentas para as máquinas da célula de Fabrico Flexível;
- montagem de conjuntos de garras para os robôs das células de Fabrico Flexível e de Montagem;
- aferição das ferramentas e das garras que foram montadas;
- paletização e despaletização dos materiais para as células de Fabrico Flexível e de Montagem.

A célula dispõe de um terminal que permite ao operador, durante a realização destas operações, ter interface com o controlador da célula de Fabrico Flexível.

Além do referido terminal, os outros recursos físicos desta célula (fig. 3) são:

- mesa de paletização;
- máquina de aferição de ferramentas ELBO CONTROLLI AR2000GA;
- mesa de transferência motorizada (gerida pelo controlador da célula de Armazenamento e Transporte de Materiais);
- armazém de ferramentas.

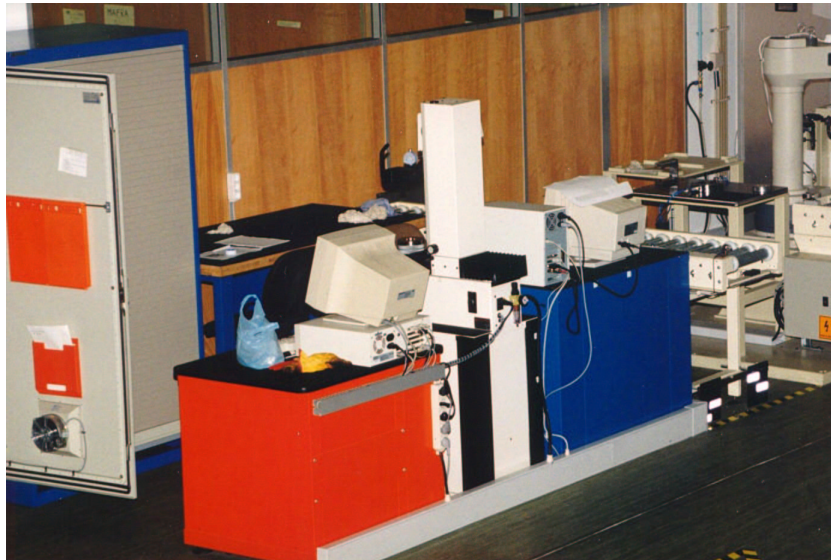


Fig. 3 - Vista da célula de Paletização e Aferição de Ferramentas

### 2.3.2. Célula de Armazenamento e Transporte de Materiais

A célula de Armazenamento e Transporte de Materiais é responsável pelo transporte dos materiais entre células e pelo seu armazenamento temporário entre as diversas fases de fabrico.

Esta célula (fig. 4) integra os seguintes equipamentos:

- veículo filoguiado (AGV - *Automatic Guided Vehicle*) EFACEC EFAGV-200-2R-B;
- armazém automático do tipo AS/RS (*Automatic Storage/Retrieval System*) EFACEC, equipado com um transtocador cartesiano;
- mesas de transferência motorizadas localizadas nas várias células, a mesa de entrada/saída (I/O) de materiais da área de Fabrico e a mesa de acesso ao armazém.



Fig. 4 - Vista parcial da área de fabrico mostrando o AGV e o armazém automático (ao fundo)

### 2.3.3. Célula de Fabrico Flexível

A célula de Fabrico Flexível, cujo controlador foi integralmente desenvolvido pelo CCP, tem como recursos principais um centro de torneamento, um centro de maquinagem e um robô de carga/descarga (figs. 5 a 8).

O centro de torneamento é um LEALDE TCN10, com controlador SINUMERIK 880T (SIEMENS), que permite o torneamento de peças de geometria cilíndrica.

O centro de maquinagem é um KONDIA B500, com controlador numérico FANUC 16MA, que se destina a maquinar peças de forma qualquer.

Finalmente, o robô de carga/descarga é um KUKA IR163/30.1 com seis eixos. O seu controlador é o SIEMENS ACR20, com a linguagem de programação SIRL, de alto nível e baseada na linguagem de programação IRL. Este robô efectua a carga e descarga das duas máquinas CNC desta célula de e para duas mesas de transferência motorizadas, que são geridas pelo controlador da célula de Armazenamento e Transporte de Materiais.

De forma a que o robô possa manipular convenientemente as peças, como é requerido pelos centros de maquinagem e de torneamento, foi constituído um *buffer* externo, onde o robô pode pousar, virar e voltar a pegar nas peças.

Por razões de segurança, este robô está equipado com o sistema SHUNK OPS (*Overload Protection System*), que é um sistema de detecção de sobrecargas e de colisões, capaz de parar o movimento do robô se for sujeito a uma situação de sobrecarga mecânica ou se sofrer uma colisão.

O robô de carga/descarga dispõe ainda de um sistema automático de troca de garras SHUNK GWA80 de tipo pneumático. As diferentes garras, necessárias para a carga e descarga das peças das máquinas CNC, encontram-se num armazém de garras, com capacidade para quatro garras, montadas sobre flanges SHUNK GWK80.



Fig. 5 - Vista da célula de Fabrico Flexível

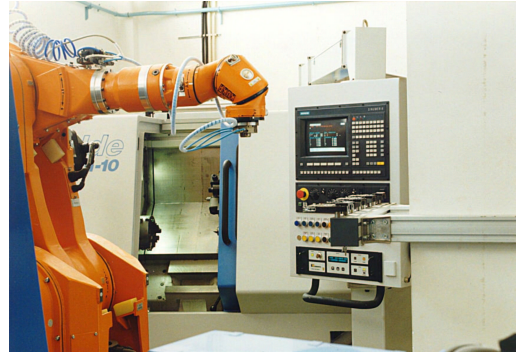


Fig. 6 - Vista do centro de torneamento

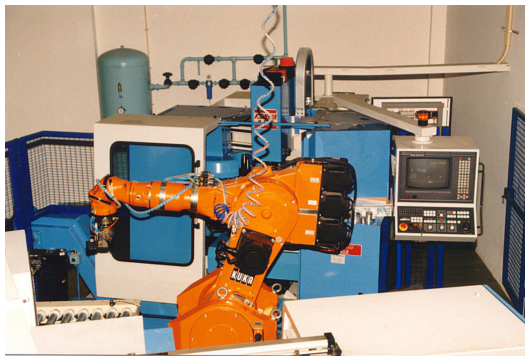


Fig. 7 - Vista do centro de maquinagem

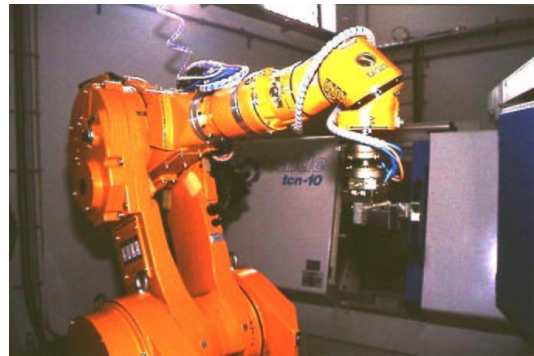


Fig. 8 - Vista do robô de carga/descarga

#### 2.3.4. Célula de Montagem

A célula de Montagem destina-se a realizar a montagem de peças ou componentes de um dado produto, produzidos internamente na célula de Fabrico Flexível ou provenientes do exterior. O resultado das operações desta célula é o produto final ou submontagens desse mesmo produto.

O principal equipamento desta célula é um robô de montagem do tipo SCARA (4 eixos), modelo Adept Three, da Adept Technology Inc., equipado com um controlador Adept CC-A Series, utilizando uma arquitectura Multi-bus.

Embarcada neste robô, está uma câmara CCD a preto e branco, da PULNIX, Inc., associada ao respectivo sistema auxiliar de visão artificial, modelo Cognex 4200EX com arquitectura VME (*Virtual Machine Extension BUS bar*), da Cognex Corporation.

Desta forma, o robô desta célula tem à sua disposição um sistema de visão artificial, ao qual recorre sempre que necessita de informação específica para a realização de determinadas operações de montagem.

Esta célula (fig. 9) dispõe ainda de:

- uma mesa de operações, que é o local físico onde a montagem é efectuada, equipada com actuadores pneumáticos para fixação de peças e componentes;

- um armazém de garras, com capacidade para quatro garras montadas sobre flanges SHUNK GWK64;
- três mesas de transferência motorizadas, que compõem o sistema de alimentação de materiais e de componentes;
- dois *buffers*, que são usados para o armazenamento, dentro do perímetro da célula, de componentes ou submontagens, permitindo assim uma maior flexibilidade para o processo.



Fig. 9 - Vista da célula de Montagem

As zonas físicas e lógicas em que esta célula se subdivide estão representadas na fig. 10.

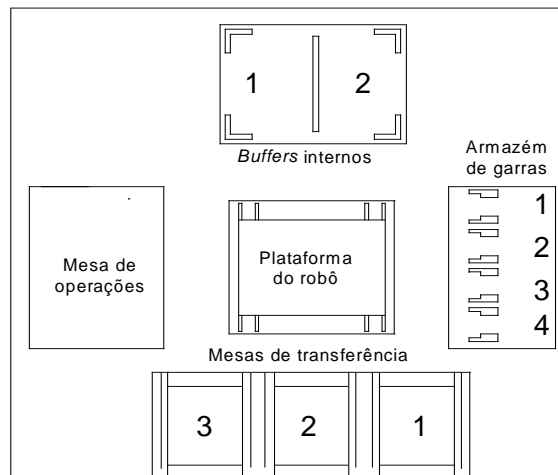


Fig. 10 - Divisão física e lógica da célula de Montagem

### 2.3.5. Infraestrutura de comunicações industriais do CCP

Numa plataforma de fabrico integrado por computador as comunicações desempenham um papel fundamental quanto à integridade e eficiência do sistema.

O sistema de comunicações que deu origem à actual infraestrutura de telecomunicações entrou em funcionamento em 17 de Fevereiro de 1992, tendo sido utilizado pelos parceiros do projecto ESPRIT CNMA (*Communications Network for Manufacturing Applications*) para realizar testes de conformidade e de funcionalidade. Este projecto teve a participação de uma equipa da Universidade do Porto, cujos membros foram também os autores da iniciativa de constituir o CCP - Centro de CIM do Porto.

Foi estabelecida uma configuração base com possíveis cenários condicionados pela disponibilidade dos produtos que implementam as normas de comunicação nas aplicações industriais. Neste sentido, a base da infraestrutura de comunicações foi implementada para servir os objectivos da integração de modo a facilitar demonstrações e de modo a servir de plataforma de testes e desenvolvimento de novas soluções baseadas em diferentes *standards* de produção.

Esta estrutura é uma combinação de redes *broadband*, *carrierband*, e *baseband*, todas interligadas através de pontes, e consiste de:

- dois troços ETHERNET 10Base5 interligados por um repetidor de 4 portas, constituindo a rede do laboratório e a rede da fábrica;
- uma rede 10BaseT que constitui a rede de suporte aos diversos gabinetes;
- uma rede BroadBand de 10 Mbps;
- uma rede CarrierBand de 5 Mbps.

As duas pontes efectuam a interligação da rede 802.4 BroadBand com a rede 802.3 (Lab), por um lado, e com a rede 802.4 CarrierBand, por outro lado. A interligação entre a rede 10Base5 e o Hub da rede 10BaseT também é realizada por uma ponte. A ligação das pontes que efectuam a interligação da rede 802.4 BroadBand e 10BaseT à rede 10Base5 não é feita directamente a *transceivers* mas a um *multiplexer*. Existe um repetidor 10Base5/10Base2 de modo a permitir a ligação centro de maquinagem, pois este não dispunha de interface AUI.

A fig. 11 esquematiza a estrutura das redes da plataforma CIM do CCP.

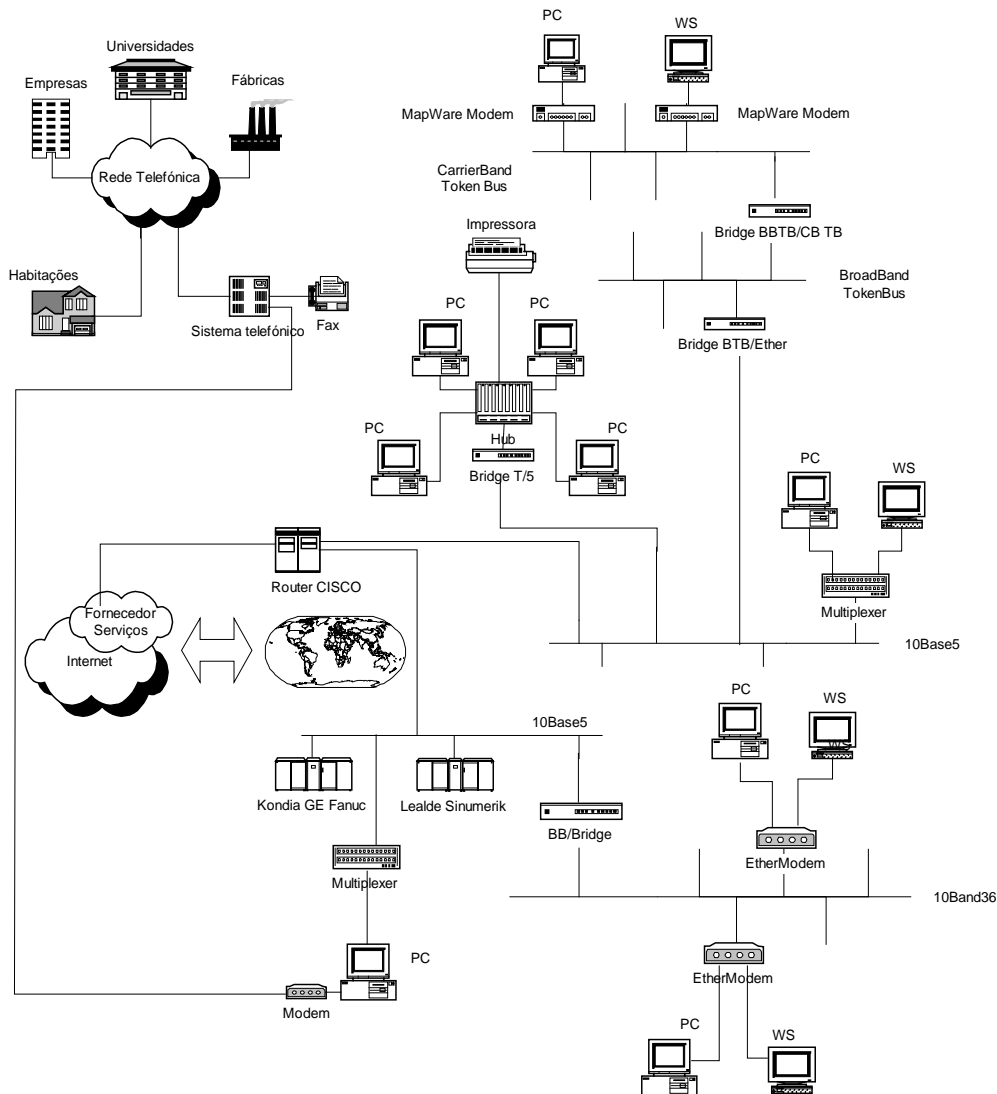


Fig. 11 - Estrutura física das redes de comunicações do CCP

### 3. Funcionamento Integrado da Plataforma CIM do CCP

O processo produtivo começa, naturalmente, com a encomenda de um determinado produto. Recebida a encomenda na área de Planeamento e Gestão da Produção (PGP), é averiguado se o produto em questão existe já na base de dados do PGP. Refira-se que, além desta base de dados, existem outras duas, uma na planta fabril e outra na área de Projecto e Simulação (PS), todas elas controladas por um sistema de gestão de bases de dados ORACLE.

Tratando-se de um produto já anteriormente produzido, a área de PGP pode iniciar o processo que levará à produção e que envolve avaliação dos custos, programação da produção e, naturalmente, contactos com o cliente.

No caso de um novo produto, a área de PGP envia à área de PS os elementos relativos a esse produto a fim de ser estudado. A área de PS analisa a encomenda e elabora a lista dos componentes a realizar, bem como das fases de fabrico e dos processos de produção desses componentes, com base nas ferramentas de CAD/CAE/CAM de que dispõe. Assim, são desenhadas as peças e feitos os estudos de engenharia sobre as peças em si e sobre o melhor projecto a adoptar, tendo em vista o fabrico e a montagem. O projecto de um determinado produto é baseado nos conceitos DFM (*Design For Manufacturing*) e DFA (*Design For Assembling*). São também projectados todos os acessórios necessários (garras para robôs, bases de fixação, etc.) para a correcta execução dos produtos pedidos.

Estas tarefas são realizadas em estreita colaboração com os recursos de simulação de robôs, especialmente no que respeita aos testes dos acessórios. O sistema de simulação dispõe dos modelos das células de Fabrico Flexível e de Montagem, o que permite visualizar em ambiente virtual o funcionamento de todos os equipamentos e, em particular, dos referidos acessórios.

A simulação permite também apurar os tempos necessários à realização de cada tarefa. Esta informação é transmitida à área de PGP a fim de calcular os custos, proceder a encomenda de materiais, programar o calendário de produção, isto é, realizar o planeamento da produção, rendibilizando os recursos disponíveis.

Entretanto, a área de PS procede à geração dos programas para as máquinas CNC que vão fabricar os componentes do produto em questão e também dos programas para os robôs. Desta forma, o robô de carga/descarga da célula de Fabrico Flexível ficará habilitado a carregar/descarregar as respectivas máquinas, e o robô da célula de Montagem poderá montar os vários componentes constituintes do produto em fabrico. Note-se que toda esta programação é realizada *off-line*, isto é, não implica a interrupção da produção eventualmente em curso.

Quando todos os programas e restantes dados de apoio ao fabrico se encontram desenvolvidos, esta informação é colocada no servidor de ficheiros da área de Fabrico, de forma a que possa ser descarregada para os controladores de células quando se iniciar a produção propriamente dita.

A produção é iniciada quando a área de PGP lança a ordem de produção correspondente. Note-se que a emissão desta ordem requer, por um lado, que a preparação realizada na área de PS esteja concluída e, por outro lado, que o planeamento da produção determine a sua oportunidade, isto é, devem estar disponíveis a matéria prima, os acessórios, os sub-componentes, etc.

O início da produção propriamente dita requer ainda que se efectue o *setup* de cada uma das células da área de Fabrico, de forma a adaptá-las a essa produção. Esta adaptação inclui, por exemplo, no caso da célula de Fabrico Flexível, a colocação do conjunto de garras apropriadas no respectivo armazém, das ferramentas de corte nos armazéns das máquinas CNC e dos mordentes para fixação das peças a maquinar. No caso da célula de Montagem, há que colocar as garras para o robô, a base de fixação das peças e os sub-componentes necessários à montagem. Na célula de Armazenamento e Transporte de Materiais é necessário colocar bases apropriadas nos contentores de transporte das peças.

Realizada a produção, as peças prontas são armazenadas controladamente tendo em vista a sua futura expedição para o cliente.

#### **4. Análise crítica das soluções adoptadas**

Deve notar-se que no projecto e planeamento da plataforma CIM do CCP foram assumidas opções de base que, desde logo, condicionaram a sua implementação. Assim, alguns componentes do CIM, tais como sistemas de apoio à decisão, integração entre fábricas, etc., foram deixados de fora.

Além disso, as soluções adoptadas para a implementação da plataforma CIM do CCP foram muito influenciadas pelo contexto em que se desenvolveu todo o trabalho de concepção e especificação, isto é, sob a égide do Projecto ESPRIT 5629. Por um lado, o conteúdo técnico e a orçamentação do Projecto e, por outro, os prazos rigorosos a cumprir, condicionaram as escolhas possíveis, quer nos objectivos a alcançar, quer no tempo disponível para a sua consecução. Finalmente, não se pode esquecer que num ambiente em contínua evolução, como é o ambiente tecnológico, as soluções são forçosamente datadas, isto é, uma boa solução hoje pode não o ser apenas alguns meses depois.

Em todo o caso, é possível apontar um conjunto de aspectos que, embora não ponham em causa o bom funcionamento do sistema de fabrico integrado, podem e devem ser melhorados num futuro mais ou menos breve. De facto, alguns já o foram, outros estão em estudo e outros ainda só aguardam oportunidade.

#### 4.1. Área de Planeamento e Gestão da Produção

A área de PGP faz a interface entre o mundo exterior (clientes e fornecedores) e a própria plataforma CIM.

O modelo adoptado nesta área pretendeu, não só efectuar o planeamento e gestão das ordens de fabrico e compra, como também apoiar os sectores das Compras, Vendas, Custeio e *Stocks*. Este modelo foi implementado recorrendo ao *software* integrado de gestão TRITON 3.0 (actualmente na versão Baan 4).

Os objectivos para a área de PGP foram atingidos, sendo, no entanto, de realçar alguns aspectos que podem ser ainda desenvolvidos.

Quanto à interface entre o PGP e a área de Fabrico, a transferência das ordens de fabrico do PGP para o controlador da planta fabril é realizada de forma automática. Todavia, a transferência deste controlador para o PGP já não é automática, o que implica reportar manualmente as ordens completas de fabrico no PGP.

No que respeita à interface entre o PGP e a área de Projecto e Simulação, também as estruturas e gamas operatórias necessárias para o custeio e planeamento dos artigos são introduzidas manualmente pelo utilizador, no PGP.

É possível melhorar estas interfaces recorrendo ao módulo de desenvolvimento de programação do TRITON. Este módulo não foi inicialmente considerado prioritário, estando em aberto a possibilidade de vir a ser adquirido.

A escolha dos procedimentos realizados no PGP depende do tipo de negócios em questão. A definição destes procedimentos implicou a definição prévia dos fluxos de informação entre as várias áreas e do tipo de produção, e conduziu a uma estruturação do PGP baseada, simplesmente, no uso de módulos e sessões específicas de *software*.

Na versão moderna do *software* de gestão (Baan 4), existem ferramentas de modelação das funções e processos de negócio que permitem criar o modelo do PGP e, depois, fazer a ligação directamente aos módulos e sessões de uma forma transparente para o utilizador. A reconfiguração das funções e dos processos traduz-se na reconfiguração automática das sessões vistas pelo utilizador, o que reduz o tempo de implementação. Existem também modelos de referência por sector industrial, que servem de ponto de partida para a modelação do PGP, facilitando a sua implementação.

#### 4.2. Área de Projecto e Simulação

A área de PS está bem equipada para os objectivos que lhe foram atribuídos. Todavia, o nível de integração desta área na plataforma CIM é relativamente limitado, como consequência das especificações do EP 5629 que se centraram em torno do caso piloto de produção de uma peça de demonstração.

Assim, foi diferido o desenvolvimento de um maior nível de integração para uma fase em que a cadência de produção o justificasse. Este estudo foi já iniciado, mas está ainda num estado embrionário.

Com vista à formação e treino que o CCP fornece, nesta área, a quadros de Pequenas e Médias Empresas, pode ser interessante utilizar, numa fase inicial dos cursos, aplicações de simulação menos potentes mas de utilização mais generalizada. Isto poderia facilitar a iniciação dos formandos nas técnicas de simulação, sem prejudicar o alto nível de formação que as sofisticadas ferramentas de simulação de que esta área dispõe pode propiciar.

### 4.3. Área de Fabrico

#### 4.3.1. Controlador da Planta Fabril

Como se referiu atrás, o controlador da planta fabril foi desenvolvido por uma equipa mista integrando investigadores da CSC Aerospace Systems Inc. e do CCP. Trata-se de uma aplicação baseada num produto *standard* da CSC, que foi adaptado ao caso concreto da plataforma CIM do CCP.

Este controlador tem-se revelado um instrumento extremamente fiável e seguro, garantindo os objectivos para os quais foi concebido, sem margem para objecções quanto ao seu desempenho. Todavia, esta robustez de funcionamento tem a sua contrapartida numa considerável complexidade de operação.

Assim, para iniciar uma nova produção torna-se necessário configurar um número elevado de ficheiros, aspecto que não seria relevante no fabrico de grandes séries, mas que é muito penalizante numa plataforma de cariz didáctico e experimental, como é a do CCP, e portanto vocacionada para as pequenas séries.

Por outro lado, tem de se reconhecer que a elaboração de um produto mais dedicado à plataforma CIM do CCP estaria hoje muito mais facilitado. Na verdade, este controlador foi desenvolvido em ambiente UNIX, quando hoje existem alternativas (como Windows NT) que oferecem um conjunto poderoso de ferramentas de desenvolvimento. Em todo o caso, o balanço da solução conseguida para o controlador da planta fabril é francamente positivo.

Prosseguem, entretanto, estudos tendentes a dotar o sistema existente de algumas funcionalidades que permitirão enriquecer o desempenho actual. É o caso da melhoria da interface gráfica com o utilizador e com o sistema de PGP e da inclusão de um módulo de escalonamento de ordens.

Concretamente, no âmbito do Projecto ESPRIT PASO, realizado por um consórcio que integrou, além do CCP, empresas de Espanha, Finlândia, Irlanda e Alemanha, os investigadores do CCP adquiriram *know-how* no desenvolvimento de controladores de planta fabril. Actualmente em curso, o Projecto INNOVATION MOSCOT, prolongamento do PASO, visa a melhoria e aplicação prática dos resultados obtidos, estando previsto fazê-lo na plataforma CIM do CCP.

#### 4.3.2. Célula de Paletização e Aferição de Ferramentas

De acordo com as especificações iniciais, o controlador desta célula foi desenvolvido de forma a disponibilizar a informação relativa às ordens de paletização de materiais e aferição de ferramentas num terminal gráfico em ambiente UNIX, instalado nesta célula.

O controlador consta essencialmente de dois módulos, o correspondente à interface gráfica, que foi desenvolvido utilizando a ferramenta TCL/TK (*Tool Common Language/Tool Kit*), e o módulo de interligação entre o controlador da planta fabril e a interface gráfica, desenvolvido em linguagem C.

O funcionamento da célula tem-se mostrado eficiente e de acordo com os objectivos de projecto. O principal aspecto criticável refere-se à interface gráfica, que deveria ser mais amigável. Isto resultou de uma opção económica, traduzida na escolha da ferramenta de desenvolvimento referida, uma aplicação *freeware* com as inevitáveis limitações, quer em funcionalidade, quer em eliminação de erros (*bugs*).

#### 4.3.3. Célula de Armazenamento e Transporte de Materiais (CATM)

A intervenção da equipa de investigadores do CCP na concepção e implementação desta célula foi especialmente exemplar, pois não só especificou, como acompanhou o projecto e supervisionou o desenvolvimento do respectivo controlador, do AGV e do armazém automático, realizados pela empresa portuguesa EFACEC, associada do CCP.

O principal aspecto crítico relativamente a esta célula resulta de ela ter sido projectada numa fase anterior à especificação do controlador da planta fabril e, por isso, a compatibilidade entre as duas não ser perfeita. Isto não prejudica a fiabilidade de funcionamento da célula, mas afecta a sua eficiência.

De facto, esta célula possui um controlador que permite gerir várias ordens ao mesmo tempo, optando pela mais conveniente, segundo vários critérios como, por exemplo, grau de prioridade, melhor trajectória em relação à localização actual do AGV, etc. Acresce ainda o facto de o AGV possuir duas mesas de transferência que permitem efectuar transportes duplos. Como o actual controlador da planta fabril manda executar tarefas uma a uma, as potencialidades da CATM não estão a ser totalmente aproveitadas.

Estes aspectos não são especialmente relevantes pois, por um lado, não existe uma frota de AGVs mas apenas um e, por outro lado, o tipo de produção habitual não requer muitas tarefas de transporte. Em consequência, esta célula tem cumprido os objectivos estabelecidos no projecto.

Refira-se, a este propósito, que o CCP desenvolveu já vários projectos de gestão de frotas de AGVs, por contrato com a sua associada EFACEC, para Portugal, Bélgica e Hong Kong, pelo que o *know-how* nesta área tem sido consideravelmente aumentado.

#### 4.3.4. Célula de Fabrico Flexível

O controlador da célula de Fabrico Flexível foi integralmente desenvolvido por uma equipa de investigadores do CCP e apresenta uma arquitectura flexível, permitindo uma fácil expansão futura do controlador, e utiliza a norma MMS (*Manufacturing Message Specification*) como protocolo de comunicação.

Esta norma, à data em que o projecto da plataforma CIM do CCP foi desenvolvido, constituía a solução mais promissora para os problemas de comunicação em ambientes industriais, pelo que recebeu a preferência do CCP. As expectativas, contudo, foram em parte frustradas, uma vez que surgiram vários problemas na implementação da utilização do protocolo.

Assim, as cartas de comunicação MAP/MMS fornecidas pelos fabricantes dos controladores das máquinas CNC e do robô eram versões experimentais, que apresentavam erros de funcionamento. Acresce que os diferentes fabricantes realizaram cartas com diferentes filosofias de interpretação do protocolo MMS, gerando, desta forma, incompatibilidades de funcionamento, que foram morosas de ultrapassar.

Em parte devido aos problemas atrás referidos, os módulos desenvolvidos utilizando o protocolo MMS não resultaram suficientemente robustos. Na verdade, após um serviço de MMS mal sucedido, os módulos não conseguiam recuperar sendo necessária a intervenção humana para resolver o problema.

A opção, então tomada, pelo ambiente UNIX foi a mais adequada, mas, actualmente, plataformas e ferramentas mais baratas e amigáveis, utilizando PCs com Windows NT, afiguram-se uma solução mais interessante.

Finalmente, um último aspecto a referir diz respeito à transferência de programas para os equipamentos industriais, que se verificou ser surpreendentemente lenta. De facto, em vez dos 10 Mbits/s característicos da rede Ethernet, verificou-se que a transferência se efectuava apenas a 10 kbits/s, em média. Esta baixa taxa de transferência deve-se, afinal, aos controladores das máquinas que estão programados para verificarem a informação recebida linha a linha.

A melhor solução parece consistir em aproveitar os tempos mortos das máquinas CNC (por exemplo, uma altura em que se esteja a verificar a carga ou descarga de uma máquina); todavia, isso requer um controlador de célula inteligente, isto é, reprogramá-lo parcialmente com recurso a técnicas de inteligência artificial. Trata-se de um desenvolvimento que se espera poder agendar a curto prazo.

o CCP tem agendado, mas que ainda não foi concretizado.

Com respeito à recuperação de erros, o controlador de célula dispõe já de um módulo capaz de recuperar os erros mais frequentes, tanto de *hardware*, como de *software*. Está em curso, entretanto, o estudo para acrescentar a recuperação de alguns erros que não foram inicialmente previstos e melhorar a forma como o controlador realiza esse processo de recuperação.

Apesar das dificuldades referidas, o funcionamento integrado do controlador da célula de Fabrico Flexível tem-se revelado eficiente e fiável, cumprindo inteiramente as especificações que presidiram à sua concepção.

#### 4.3.5. Célula de Montagem

A célula de Montagem foi projectada e implementada de acordo com a filosofia integrada da plataforma CIM do CCP, por uma equipa de investigadores seus. Procurou-se desenvolver uma célula com potencialidades de demonstração das técnicas mais modernas de automatização da montagem, integrando visão artificial, sem perder de vista a funcionalidade prática do objectivo de montagem de peças.

Paralelamente, foi desenvolvido um controlador de célula modular que possibilita a fácil expansão e um conjunto de rotinas de montagem que permitem a definição simples de uma tarefa de montagem.

A célula tem cumprido de forma satisfatória os objectivos do projecto, embora esteja presentemente a ser renovada com vista a melhorar o seu desempenho e a eliminar alguns pontos fracos, entretanto detectados.

Assim, está em estudo a sensorização de toda a célula e, em particular, das garras do robô. Esta modificação dotará a célula de meios inteligentes que a tornarão mais flexível e permitirá estudos de I&D mais elaborados no âmbito das tecnologias associadas ao seu funcionamento.

Está também em análise a possibilidade de enriquecer a aquisição de imagem com recurso a câmaras fixas, isto é, não embarcadas no robô, como é exclusivamente o caso actual, por forma a obter reduções de tempos de execução. Efectivamente, a utilização de câmaras fixas permitirá a realização de rotinas de processamento e análise de imagem, independentemente dos movimentos do robô.

Também a colocação do armazém de garras poderá vir a ser melhorada, situando-a mais próximo da mesa de operações, reduzindo o percurso que o robô tem de realizar e diminuindo assim os tempos de operação da célula.

A experiência de produção da plataforma CIM do CCP, essencialmente para a indústria metalomecânica, tem mostrado que a célula de Montagem com a configuração e funcionalidades actuais está subaproveitada, uma vez que apenas intervém numa pequena parte do tempo de duração do processo produtivo. Seria, certamente, diferente numa unidade fabril com várias células de fabrico, mas numa plataforma de demonstração, formação e investigação, que tem apenas uma célula de Fabrico Flexível, o tempo de intervenção da célula é realmente escasso.

Desta forma, seria interessante a possibilidade de utilizar a célula como apoio à célula de Fabrico Flexível em operações de acabamento, como rebarbagem e oleamento das peças. Porém, como toda a estrutura de funcionamento da célula foi desenvolvida tendo em perspectiva a sua aplicação exclusiva em operações de montagem, e tendo em conta as limitações de comunicações da célula com o exterior (só comunicações série de baixo débito), foi desenvolvido um conjunto de macro operações de montagem (pegar, pousar, inserir, etc.), que possibilitam criar programas de forma lógica e rápida. Assim, a extensão das funcionalidades da célula requer dotá-la com mecanismos que lhe permitam não só ser flexível nas operações para que foi destinada, como também na possibilidade de efectuar múltiplas funções distintas como célula robotizada.

## 5. Conclusões

O CCP - Centro de CIM do Porto foi criado para promover o uso das tecnologias CIM através da transferência de tecnologia, formação e treino, e disseminação de informação.

A transferência de tecnologia é realizada pela introdução de novas tecnologias na indústria portuguesa, o que requer o conhecimento das tecnologias e dos requisitos industriais, mas só pode ser materializada ganhando a confiança dos industrialistas.

A plataforma CIM do CCP desempenha um papel essencial no quebrar das barreiras à adopção de soluções inovadoras, que podem ser desenvolvidas e demonstradas no CCP antes de serem transferidas para os utilizadores.

A decisão estratégica de recusar a solução de comprar uma instalação "chave na mão", preferindo a alternativa de confiar aos investigadores do CCP a tarefa de definir a estrutura funcional, especificar e escolher os equipamentos, e mesmo projectar e implementar alguns deles, permitiu ganhar um considerável *know-how* em todas as áreas do fabrico integrado por computador.

Assim, o CCP, com as suas estruturas, a sua equipa de investigadores e as suas ligações ao ambiente académico e industrial, está em excelente posição de concretizar os seus objectivos fundamentais de ser útil ao desenvolvimento da indústria portuguesa.

Entretanto, a sua participação em programas de cooperação internacional bem como a realização de projectos industriais conduz a um contínuo aprofundar do *know-how* adquirido. Desta forma, também os recursos do CCP e, em particular, a sua plataforma CIM, reflectem a busca de uma evolução constante no sentido de procurar fazer mais e melhor.

## 6. Agradecimentos

Este trabalho constitui uma síntese das muitas contribuições que, ao longo dos últimos anos, os investigadores e técnicos do CCP têm produzido e apresentado em diversas oportunidades e locais. Sem essas contribuições, que reflectem o seu muito estudo e trabalho realizados, este trabalho não seria possível. Assim, fica aqui reconhecido o mérito de quantos têm ajudado a construir o nome do CCP.

São devidos também agradecimentos a todos os colegas que, para além dos trabalhos escritos, contribuíram com sugestões e críticas que muito ajudaram na elaboração deste artigo.

## 7. Referências

- [1] Carlos A. Sá, "*EP 5629 Implementation - A Co-ordination Point of View*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
- [2] Francisco J. Restivo, "*University, Industry and CCP Strategy*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
- [3] Manuel S. Silva, Carlos A. Sá, Francisco J. Restivo, "*A Oficina Piloto do CCP - Centro de CIM do Porto*", Revista Tecnometal, Fevereiro 1997.
- [4] Paulo R. Pinto, José Rui Lopes, "*Manufacturing Cell Integration Using the MMS Communication Protocol*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
- [5] Paulo J. Leitão, José M. Machado, "*Flexible Manufacturing Cell Controller Architecture*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
- [6] Paulo J. Leitão, Carlos Martins, Rui Rocha, "*Integration of CNC Machines in Flexible Manufacturing Cell*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
- [7] Pedro Guedes, "*Assembly Sequences and Assembly Operations*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
- [8] Pedro Guedes, "*Assembly Cell Calibration*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.

- 
- [9] Pedro Guedes, Manuel S. Silva, Paulo J. Magalhães, Jorge B. Silva "*The Assembly Cell Implementation*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
  - [10] José M. Machado, Paulo J. Leitão, "*Palletising and Calibration Cell Controller Architecture*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
  - [11] Miguel Faria, "*Architecture of the Materials Storage and Transport Cell*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
  - [12] Miguel Faria, "*Integration of the Transfer Tables in the Material Storage and Transport Cell*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
  - [13] Miguel Faria, "*Integration of the AGV and AS/RS in the Material Storage and Transport Cell of CCP*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
  - [14] José M. Machado, Manuel S. Silva, "*Integration of a Load/Unload Robot in a Flexible Manufacturing Cell*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.
  - [15] Manuel S. Silva, "*Simulation and Off-Line Programming of Industrial Robots*", CCP Presentation Day Proceedings, 27 October 1995.

A maior parte dos trabalhos aqui referidos podem ser obtidos a partir da página do CCP na Internet:

URL: <http://www.ccp.up.pt>