

# TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO & SISTEMAS DE INFORMAÇÃO



MERCADOS E NEGÓCIOS:  
DINÂMICAS E ESTRATÉGIAS



Inovação e indústria de moldes em Portugal:  
a introdução do CAD/CAM/CAE nos anos 80

Eduardo J. C. Beira, Joaquim M. Menezes

WP 6b (2001)  
Working papers "Mercados e Negócios" TSI  
Outubro 2001

## **Inovação e indústria de moldes em Portugal: a introdução do CAD/CAM/CAE nos anos 80**

Eduardo J. C. Beira, Joaquim M. Menezes  
Departamento de Sistemas de Informação, Universidade do Minho

Joaquim M. Menezes  
Iberomoldes SA. (Marinha Grande)

### **Sumário**

Nos inícios de 1983 foi instalado na empresa Edilásio Carreira da Silva, Lda., em Picassinos (Marinha Grande) um sistema CAD/CAM multiposto. Era o primeiro sistema desse tipo instalado numa empresa portuguesa de moldes e ao mesmo o primeiro sistema multiposto a operar num ambiente industrial num sector da metalomecânica portuguesa. Era também uma entrada precoce na utilização de uma tecnologia ainda incipiente, em especial para uma empresa de pequena ou média dimensão. A nível mundial a experiência existente na indústria de moldes era ainda muito restrita (e os casos conhecidos eram em geral de resultados duvidosos) (ver, por exemplo, Harvey (1986), mesmo já em meados da década). Financeiramente era uma aposta forte feita por uma empresa dinâmica integrada numa indústria de sucesso, mas de dimensão limitada.

Os objectivos de um sistema deste tipo na indústria de moldes (e na Iberomoldes em particular) eram ambiciosos: ganhar capacidade de resposta na maquinação de geometrias complexas e viabilizar a exploração do crescente parque de máquinas ferramentas com controladores programáveis NC a vários eixos (3 ou mais), sendo que as soluções 2D (e mesmo 2 ½ D) tinham uma capacidade de resposta muito limitada. O desafio antecipado era não só de comunicação com os clientes do sector (em geral empresas de grandes dimensões ou mesmo multinacionais), mas a capacidade de fabricar moldes para peças com geometrias cada vez mais complexas, logo muito exigentes de soluções 3D quer ao nível do CAD como do CAM.

Vinte anos depois este objectivo foi conseguido e é uma rotina bem estabelecida na generalidade da indústria de moldes, mas só a partir de meados dos anos 90 é que a fiabilidade e a acessibilidade da tecnologia se consolidou e generalizou. Até lá houve um percurso percorrido pelos pioneiros e um conhecimento que se adquiriu e estruturou, não só sobre a tecnologia em si, mas também sob a organização da produção e mesmo sobre modelos de negócio do sector. A Iberomoldes foi a empresa do sector que mais se terá evidenciado nessa fase inicial de desbravar o caminho das soluções e de explorar competitivamente os seus resultados. Este trabalho procura reflectir sobre esse percurso e alguns dos seus percalços e sucessos.

Em publicação:

Brito, J., M. Heitor e F. Rollo (eds.), “A engenharia portuguesa do século XX”

D. Quixote, 2003

## Portugal, anos 80

Em Portugal apenas dois anos antes tinha sido instalado um primeiro sistema numa unidade industrial – a Setenave instalara em 1981 um sistema monoposto (da ComputerVision, então líder mundial de sistemas CAD) vocacionado para a planificação e oxicorte de placas (chapas) metálicas, cujos resultados terão mesmo permitido recuperar rapidamente o investimento, em particular pela dramática redução de tempo de reparação de um navio que o sistema facilitava no caso de serem disponíveis em suporte digital os “desenhos” de construção do navio – com os correspondentes prémios para o armador.

Quase em paralelo tinha sido instalado um sistema multiposto, também da ComputerVision, no então LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia). O sistema tinha sido primeiro instalado ainda em Sacavém, mas rapidamente foi transferido para as (então) novas instalações no Lumiar, e tinha uma vocação de acção de demonstração, especialmente orientada para uma indústria electrónica então em fase esforçada de emergência em Portugal. Equipado com um “foto-plotter” especializado, o sistema deu apoio a algumas das iniciativas e projectos mais importantes dos turbulentos e criativos princípios dos anos 80 na consolidação de alguma indústria electrónica: os esforços de desenvolvimento de produto da Timex, do Centro de Estudos de Telecomunicações (Aveiro), da Efacec, ... . Na indústria de moldes foram feitos alguns feitos esforços de demonstração, mas a distancia (física e não só) à rotina de fabricação e à operação das máquinas ferramenta programáveis ficaram sempre distantes de rotinas operacionais. Saliente-se no entanto o papel que este sistema teve nos primeiros anos da década de 80 para as empresas concorrentes da Iberomoldes (e portanto para o sector em geral) na leitura e impressão (em plotter) de desenhos de peças ou moldes enviados por clientes estrangeiros em banda magnética, e já sem suporte de desenho em papel, para efeitos habitualmente de orçamentação.

Para os primórdios do CAD em Portugal registe-se ainda a experiência do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) em aplicações 2D (Duarte Cunha, 1987).

No quadro I registam-se alguns dos eventos mais importantes da década de 80 sobre a difusão e divulgação da tecnologia CAD/CAM em Portugal, em que a Ordem dos Engenheiros teve um papel relevante, primeiro através de uma série de colóquios e simpósios, depois através da organização dos PPAC, as Jornadas Nacionais de Projecto, Planeamento e Produção Assistidas por Computador, de que se realizaram cinco edições, a primeira das quais em 1987 e a última já em 1995. Mas as duas edições do Simpósio CAD/CAM que organizou em 1986 em Lisboa e no Porto tinham já tido especial impacto. Em 1986 a API (Associação Portuguesa de Informática) promoveu na Marinha Grande um Seminário Internacional, com a colaboração da IFIP, que também teve repercussão. No ano seguinte a Revista de Informática, publicada pela API, dedicou um número ao CAD/CAM, na qual aparecem já as primeiras publicações referentes ao esforço de desenvolvimento de soluções para as indústrias ditas tradicionais então iniciado por várias instituições nacionais (INESC, por exemplo).

## **Das máquinas ferramentas programáveis ao CAM e aos centros de maquinação**

Terá sido na Feira de Hanôver em 1968 que os industriais portugueses da indústria de moldes se confrontaram mais seriamente com uma novidade que prometia ser a tendência da tecnologia futura em máquinas ferramentas: uma máquina de furar programável, que permitia posicionar a ferramenta com um rigor razoável, de modo autónomo relativamente ao seu operador.

Na década seguinte a indústria foi-se progressivamente equipando com máquinas com controlo numérico (NC), não só de furar, mas também de tornear e mesmo de fresar, cuja programação era feita directamente através dos teclados e

comandos da consola, em geral pelo próprio operador da máquina. Era chamada programação “key-in”, ou com o input de dados para a operação por via manual, uma forma de CAM independente dos grandes sistemas (baseados em computadores de grande porte) e muito mais acessível sob o ponto de vista financeira (Alique, 1981; Nuñez, 1984).

Este tipo de operação levantava vários problemas. Por um lado desviava-se dos princípios clássicos da separação entre a programação e a operação das máquinas, que até finais da década de 60 tinha caracterizado a aplicação de tecnologias de máquinas ferramentas NC. Otto (1980) fala mesmo num síntese das potencialidades das máquinas com as competências do operador humano, numa equipe de trabalho “homem-máquina” que abria novas perspectivas à aplicação das tecnologias de controlo numérico (NC) relativamente aos ambientes convencionais de programação até aí típicos. Mas a necessidade de ocupar tempo de produção da máquina com tempo de programação (entrada do programa) e de “debugging” (verificação e correcção do programa) tornava a opção pouco interessante para sectores com séries de pequena dimensão – e a indústria de moldes caracteriza-se precisamente por ser um caso limite de produção “one-at-a-time”.

As dificuldades dos operadores tradicionais de máquinas ferramentas controladas manualmente se adaptarem a uma operação mais ou menos “programada” (logo com elevadas exigências de abstracção para codificação da “inteligência” da maquinação) agravavam as dificuldades da sua adopção por empresas pequenas e com uma carga muito variável – caso das empresas de moldes.

Ora esses ambientes em que as máquinas ferramentas programáveis se desenvolveram, assim como as primeiras soluções CAM (geração de programas NC através da “assistência” de computadores e software – então ainda não gráfico ou com facilidades gráficas muito rudimentares e limitadas - para facilitar a geração do código NC de programação das máquinas ferramentas específicas – o

que podia envolver post-processadores) eram muito diferentes dos que caracterizavam (e caracterizam) a indústria de moldes (em Portugal e não só).

As máquinas ferramentas desenvolvem-se à volta da procura criada pelo fabuloso desenvolvimento da indústria automóvel americana nas primeiras décadas do século XX (Noble, 1986). Por sua vez as primeiras tecnologias de comando NC de máquinas ferramentas aparecem na década de 50 na indústria aeronáutica americana, à volta de frágeis válvulas electrónicas e leitores de fitas perfuradas, e implementam-se no contexto de aplicações militares altamente financiadas por contratos com a US Air Force e pelo DoD, e com objectivos de melhorar a perfeição (eliminação do erro humano) e de obter uma repetição fiável, não com objectivos de flexibilidade (Alic et al, 1992).

As necessidades e exigências desse tipo de aplicações eram então muito superiores às da indústria corrente metalomecânica, donde resultou uma tecnologia sobredimensionada e muito cara para a indústria em geral e por sua vez pouco capaz a responder a algumas das suas necessidades específicas (mas que não eram tão importantes na indústria aeronáutica). A complexidade do APT (Automated Programming Tooling), então desenvolvido pelo MIT, tornava a programação tudo menos acessível aos operadores das máquinas ferramentas. A consequência foi o desenvolvimento de equipas de programação autónomas, independentes do “shopfloor”, usando mesmo complexos e caros sistemas especializados do tipo DNC (em que a máquina ferramenta era directamente controlada por um computador central, no qual residia o programa NC a executar). A isso não terá sido alheia a tendência de “isolar” ou proteger o processo de fabrico das potenciais consequências da rebeldia ou das lutas dos trabalhadores, ao mesmo tempo que os desenhos e planos de fabrico desapareciam do “shopfloor” e passavam para uma nova classe de trabalhadores mais próximos dos “colarinhos brancos” e por isso potencialmente mais controláveis pela gestão – considerações nada irrelevantes na indústria de construção de aviões militares no contexto político dos anos 50 e 60, ainda muito

influenciado pelo post-guerra e acima de tudo pela crescente importância da guerra fria (Noble, 1979).

Aliás Noble (1979) argumenta de forma convincente sobre o efeito perverso das raízes militares da origem da tecnologia, privilegiando uma tecnologia complexa e cara, logo inacessível ao grande mercado, quando existiam alternativas tecnológicas prometedoras e baratas: as tecnologias do tipo “tracer” de contornos a maquinar, tipo pantógrafo, em máquinas “record-playback” com facilidades de edição do contorno registado e que mantinham o controlo do processo na esfera do operador especializado da máquina ferramenta. Uma solução aliás retomada nos anos 90 com as soluções de digitalização (scanning) tridimensional de geometrias e a sua reprodução (eventualmente por prototipagem rápida). O artigo de Noble (1979) tornou-se mesmo uma referência na discussão das opções e escolhas sociais e políticas na inovação tecnológica e sua difusão. Alic et al (1992) por sua vez argumentam que sem o apoio da procura militar, o descalabro e a crise da indústria americana das máquinas ferramentas nos anos 70 teria sido ainda mais dramática.

O mercado das máquinas ferramentas conhece nos anos 70 uma verdadeira revolução com o sucesso dos fabricantes japoneses em dominar as vantagens de controladores baseados em microprocessadores e em massificar a produção de máquinas ferramentas altamente flexíveis e de uso geral, inclusive em configurações mais avançadas de “centros de maquinação”, com facilidades de mudança automática de ferramentas e inclusive de mudança de mesas de operação. Para uma excelente discussão das diferentes trajetórias das indústrias americana e japonesas de máquinas ferramentas, ver Mazzoleni (1999).

A progressiva adopção pelos japoneses do fabrico de máquinas ferramentas com especificações standard e modulares em linhas de montagem especializadas capazes de séries médias, e mesmo curtas, permitiu produzir com grandes economias de escala (logo com preços finais mais acessíveis) e com uma rápida capacidade de resposta (uma limitação devastadora para os fabricantes

americanos nos finais da década de 70), para além de uma manutenção e de uma programação simplificada. Isso conferiu-lhes então uma decisiva vantagem competitiva como exportadores para o mercado internacional (Mazzoleni, 1999). A porta abria-se à massificação das máquinas ferramentas programáveis nas médias empresas, e mesmo nas pequenas empresas.

### **Indústria portuguesa de moldes e máquinas NC**

Na década de 70 a indústria de moldes inicia os primeiros investimentos em máquinas ferramentas programáveis. Na turbulência posterior ao 25 de Abril de 1974, e numa conjuntura internacional com uma procura em crise, o sector conhece um período de sobressalto e inquietação. A pressão para a melhoria da produtividade e a necessidade de resposta a uma procura com peças de geometrias cada vez menos lineares e com especificações de produto mais exigentes leva as principais empresas a adquirirem as primeiras máquinas programáveis, por “key-in”. Esse tipo de máquinas caracteriza a primeira ronda de investimento nesta nova geração de tecnologias.

As dificuldades encontradas na operacionalização deste tipo de solução levam à procura das primeiras soluções CAM (Computer aided programming), de que a aquisição nos finais dos anos 70 dos primeiros sistemas Diaprolog por empresas como o Aníbal H. Abrantes ou a Molde Matos são exemplares. Os sistemas CAM Diaprolog baseavam-se em processadores PDP 11/23 da DEC, usavam disquetes de 8” para arquivo de programas e dados e faziam a transferência do programa de maquinação para o controlador (de muito limitada memória) da máquina ferramenta (tipicamente fresadoras Deckel FP4NC) directamente através uma ligação assíncrona por uma porta série do PDP.

As facilidades de geração de programas numéricas (frezagem) eram ainda muito limitadas. Não só eram apenas 2D como a interface gráfica era quase



inexistente. Não permitia ainda uma pré-visualização e inspecção mais ou menos completa da maquinação.

No início da década de 80 a dialéctica das soluções NC (com as dificuldades de programação associadas) versus soluções não programáveis ou máquinas ferramentas de outro tipo (a electroerosão fazia então a sua aparição com força e despertou de imediato grandes expectativas) dominava a agenda da indústria, precisamente quando em Janeiro de 1983 se reúne na Marinha Grande o I Congresso da Industria de Moldes, em cujas actas estas preocupações aparecem bem reflectidas.

### **Iberomoldes: de um modelo alternativo de negócio a grupo empresarial**

A Iberomoldes foi criada em 1975 por dois antigos directores da Aníbal H Abrantes, a empresa matriz do sector e a sua referência obrigatória até meados dos anos 70.

Inicialmente a Iberomoldes desenvolve-se como uma empresa de vocação comercial, mas rica em serviços de engenharia, baseada na subcontratação controlada do processo produtivo (“outsourcing” na linguagem típica dos dias de hoje). Pouco depois inicia um processo de crescimento e verticalização através de uma filosofia baseada em unidades autónomas de fabrico, mas especializadas. Uma empresa especializada em serviços de electroerosão (a Celectro), uma empresa especializada em serviços de fresagem (Cemafre) e outra em serviços de polimento (Polimoldes) foram das primeiras iniciativas deste tipo. Uma primeira participação minoritária numa pequena empresa produtora de moldes (a Calazans Duarte, posteriormente Inamol) inicia o processo de entrada da fabricação propriamente dita.

Procura na altura um parceiro com capacidade financeira e de gestão, que permita uma partilha de riscos, e encontra-o na RAR – Refinarias de Açúcar

Reunidas, SARL (Porto), que na segunda metade da década de 70 inicia também um processo de diversificação e crescimento, tendo chegado a constituir então um dos primeiros novos grupos empresariais com importância emergentes da conjuntura post-25 de Abril, com interesses em áreas como o agro-alimentar, as rochas ornamentais, o trading internacional e mesmo a informática (então ainda muito na fase do processamento de dados).

Uma primeira empresa no sector dos plásticos é criada em 1977 (a Iberocap), mas é em 1978 que a parceria dá um importante passo ao adquirir uma das empresas mais emblemáticas da produção de moldes – a Edilásio Carreira da Silva, Lda., então uma empresa com cerca de 120 pessoas. No mesmo ano é criado, pela mesma parceria, uma empresa especializada em estruturas para moldes – a Iberonorma. Nessa empresa seria instalada em 1979 a primeira máquinas ferramenta programável do grupo – uma máquina de furar GSP, com um controlador programável, baseado em tecnologia não electrónica, mas sim electromecânica (“relais”) e alimentado por programas NC em fita perfurada.

Nos dois anos seguintes a parceria prosseguiria uma política de crescimento vertical, desta vez adquirindo o controlo da Nobre & Silva Lda, uma empresa da Amadora (Lisboa) também emblemática do sector de artigos em plástico, e criando uma trading especializada (a Plastrate) (para mais pormenores sobre esta questão, ver Gomes (1988), cp. 4.2).

### **Estratégia de investimento em centros de maquinaria**

Toda este esforço de crescimento começa por limitar numa primeira fase os recursos disponíveis da Iberomoldes para investimentos em tecnologia – e não participa por isso na primeira ronda de investimentos em máquinas programáveis “key-in”.

Mas quando no início dos anos 80 começa a reestruturar as unidades adquiridas – a Edilásio em especial – e faz as primeiras grandes opções em termos de máquinas ferramenta programáveis. Dá-se o caso de estarem a entrar no mercado português as primeiras gerações de centros de maquinação japoneses, muito mais versáteis e atractivos em termos de custos (em especial os produtos da Mori Seiki, um dos 4 fabricantes japoneses com mais sucesso na década de 80 (Mazzoleni, 1999)).

Na altura era uma opção vista como muito arriscada pelo sector. O investimento exigia uma alta taxa de utilização das máquinas, o que por sua vez implicava um esforço de programação (NC) muito elevado. A flexibilidade de um centro de maquinação só seria realizável com uma capacidade de programação NC substancial. As potencialidades de frezagem automatizada de geometrias complexas oferecidas pelos controladores CNC dessas máquinas era uma potencial força competitiva, mas exigia uma programação mais sofisticada e de maior risco (de erro!). A opção por centros de maquinação avançados e flexíveis implicava uma capacidade de programação NC que era inviável pela via da programação NC manual, não só porque não existiam no mercado projectistas e programadores disponíveis, mas também porque o custo e o tempo para os formar em número suficiente não era simplesmente uma opção credível (inclusive pela dificuldade da sua retenção numa industria ávida de mão de obra desse tipo).

Uma solução baseada nos novos sistemas CAD/CAM era um corolário óbvio da opção. Era mesmo uma condição necessária para a viabilização das opções de investimento produtivo em máquinas e centros programáveis.

Mas na altura havia uma pressão adicional para a aquisição de um sistema CAD/CAM, e que não era de menor importância: a antecipação do aumento da pressão dos grandes clientes para que o fabricante de moldes fosse capaz de receber os desenhos das peças num suporte digital. Muitos dos grandes compradores de moldes estavam a dar os primeiros passos no uso de CAD, quer a 2D como a 3D. Uma integração na cadeia de fabrico implicava uma fácil troca de

dados com os fabricantes de moldes (na altura tipicamente através de bandas magnéticas), o que por sua vez implicava a existência de formas de compatibilizar as estruturas de dados (e daí a importância que o IGES teve, apesar de muitas das suas limitações iniciais).

Recorda-se que no início dos anos 80 a indústria trabalhava com base em desenhos técnicos do cliente (em papel) que especificavam com rigor a peça a moldar. Cabia ao fabricante de moldes desenhar o seu molde a partir da decodificação da geometria e especificações nos desenhos (2D) das peças. Mas os clientes começavam já a falar em mandar os desenhos 2D em suporte magnético, ou mesmo a falar em enviar modelos de geometria CAD 3D de peças. A Iberomoldes dava então a maior importância à capacidade de resposta a esta tendência e ao seu posicionamento claro no acompanhamento tecnológico dos seus clientes.

## **Tecnologias CAD e CAM**

Os sistemas CAD/CAM/CAE aparecem na década de 70. Para uma descrição mais completa da “timeline” da sua evolução, ver Bozdoc (www), Orr (www), Jack (www), Pillers (1998), e especialmente LoPiccolo (2002).

Tanto a Applicon como a ComputerVision foram spin offs do MIT criadas nos princípios dos anos 70 e dominaram o mercado, em especial com soluções baseadas em minicomputadores de desenho (CAD) e aplicações vocacionadas para a electrónica.

Em 1976 a McAuto adquire e passa a comercializar o sistema Unigraphics, com uma vocação mais “mecânica”.

A nova arquitectura dos minicomputadores, então a ganhar força e dimensão, disponibilizava uma plataforma acessível, menos fechada, robusta e flexível para sistemas deste tipo. A tecnologia dos terminais gráficos era ainda pesada e cara,

mas as expectativas de desenvolvimentos futuros eram animadores. As primeiras aplicações CAD com mais sucesso aparecem na electrónica, especialmente no projecto de circuitos integrados, onde as questões de geometria tridimensional eram menos relevantes. Começa a falar-se em “desenho assistido” nos domínios da mecânica, posteriormente em “projecto assistido” (1)

Em 1977 a IBM contratualiza com a Lockheed a comercialização do CADAM, um sistema de desenho (CAD) a 2 ou 2 ½ dimensões (2). E em 1980 a IBM associa-se com a Dassault Systems (uma vez mais um parceiro na indústria aeronáutica) para comercializar o CATIA, uma solução de CAD realmente já de base 3D. Ambas as soluções corriam em mainframes IBM e exigiam sofisticados terminais gráficos.

Em 1978 a Computer Vision introduz os primeiros terminais gráficos “raster”, mais económicos do que os terminais “vectoriais”. Em 1979 a Boeing desenvolve o IGES, uma primeira plataforma de comunicação de dados entre diferentes sistemas de CAD, algo indispensável para viabilizar a portabilidade de modelos CAD (dados) entre empresas ou sistemas diferentes. Em 1980 começa a surgir as primeiras tentativas baseadas em modelos sólidos, mas a sua divulgação só começa a generalizar-se na segunda metade da década de 80.

Mas a integração do CAD e do CAM apenas começa a realizar-se no final da década de 70, com a crescente adopção de sistemas com software aplicativo baseado em modelos geométricos 3D (“wireframe”, com facilidade de definição de superfícies livres). No princípio dos anos 80 a integração 3D do CAD e do CAM era ainda frágil, mas começava a ser funcional. A funcionalidade da definição de superfícies e respectiva maquinação nas proximidades das intersecções era ainda o passo ainda limitante, assim como as disponibilidades de post-processadores para a variedade de controladores das máquinas ferramenta instaladas ou a adquirir.

## Processo de selecção e instalação

Quando o processo de procura e selecção do sistema se iniciou em 1981 (3) foram ponderadas várias opções, com ênfase inicial para as soluções ComputerVision e para soluções de arquitectura IBM.

A ComputerVision era então o líder do mercado mundial, com sistemas largamente baseados em processadores próprios, e tinha já em Portugal instalações a funcionar (na Setenave e no LNETI). Para além disso era liderada a partir de Madrid por um português (4) que muito se empenhou no processo – o que naturalmente facilitou a entrada do grupo nos meandros da questão.

As soluções IBM eram mais atractivas para uma empresa já com uma infraestrutura de mainframes – um ambiente dificilmente aplicável a empresas como as da indústria de moldes. Mas desde o princípio esteve presente uma proposta CADAM baseada no programa de contrapartidas associadas ao equipamento da frota da TAP pelos Lockheed 1011 Tristar.

Uma longa viagem pelos USA a instalações recomendadas pelos fornecedores de sistemas foi simultaneamente esclarecedora e algo decepcionante. Especialmente porque foi possível apreender as grandes dificuldades que as empresas de médio porte, quer de plásticos quer de indústria mecânica, estavam ainda a ter na integração dos sistemas CAD no seu “workflow” corrente. As demonstrações vistas ficavam muito aquém das expectativas e da percepção de necessidades em CAM, em especial na geração de programas de maquinação de superfícies mais ou menos “livres”. E a questão da integração do CAD e do CAM - desenhos 2D, modelos 3D, programas NC – no contexto do fabrico da sequencia habitual de fabrico de moldes levantava muitas interrogações.

Foi numa visita a uma empresa de moldes concorrente em Chicago (5) que o grupo se apercebeu da potencial importância das soluções Unigraphics, então comercializadas pela McAuto e baseadas em minicomputadores da Digital ou da Data General. O empenho e profissionalismo de dois técnicos dos escritórios da

McAuto em Chicago (6) colocaram o grupo definitivamente na pista dessa solução. As negociações continuaram depois da Europa, através da McAuto Benelux, com sede em Haia (Holanda).

Os custos típicos das várias soluções (com plotter A0) então propostas andavam entre os 300 mil USD e os 600 mil USD, investimentos muito elevados para empresas com a dimensão típica dos fabricantes de moldes. Uma longa negociação acabou por permitir a aquisição em condições atraentes de um sistema Unigraphics I, inicialmente com três terminais gráficos (vectoriais e monocromáticos: Tektronix 4014), plotter Calcomp A0, unidade de banda, unidade de disquetes, leitor / perfurados de fita, unidade Tektronix de hardcopy (em papel térmico) e baseado num processador PDP 11/70. O sistema havia sido instalado pouco antes numa empresa holandesa de serviços que havia fechado.

O negócio acabou por ser um bom compromisso entre o custo do investimento, a oportunidade e o seu risco – na realidade em 1983 o grupo tinha consciência que uma nova versão do Unigraphics estava a ser lançada (UGII) e que os terminais raster a cores tenderiam a ser a solução do futuro, para além de que os novos processadores de 32 bits (que equipavam os novos minicomputadores VAX da DEC e os então novos MVs da DG) representavam uma nova geração emergente de máquinas.

Apesar de pensado para prestar serviços a todas as empresas então ligadas à Iberomoldes, o sistema foi instalado na Edilásio Carreira da Silva, a principal empresa da parceria da Iberomoldes com o grupo RAR. Uma equipe foi treinada (7) para arrancar com a exploração do sistema e nela foram também concentradas as competências do grupo em programação NC. Na prática viria a constituir um departamento autónomo (centro de custos e proveitos) dentro da empresa onde se instalara.

Alguma da reflexão feita por essa altura e relativa ao processo de decisão e à experiência dos primeiros tempos encontra-se publicada em várias

contribuições (Beira, 1983; Ramalhão, 1983; Santos, 1985; Neto, 1985; Beira, 1986; Monteiro, 1987).

## Da teoria à realidade

Conceptualmente o modelo integrado de CAD e CAM parecia simples: com base no modelo 3D da peça, gerar o molde (e seus componentes) em 3D, extrair daí os desenhos 2D que fossem necessários e gerar os programas NC necessários para a fabricação em máquinas ferramentas com vários eixos. A realidade era bem diferente (Beira, 1989). E vinte anos depois essa integração terá avançado muito, mas continua por se cumprir integralmente.

Rapidamente se compreendeu que era inviável colocar os projectistas de moldes a trabalhar em CAD, acima de tudo por razões de produtividade e de tempo. O projecto fazia-se mais depressa e mais barato no estirador do que no sistema CAD (Beira e Santos, 1987; Beira, 1988).

Os projectistas de moldes trabalhavam no estirador sempre à escala 1:1 e simultaneamente em quatro vistas normalizadas. Ambas as situações eram inviáveis, em termos práticos, no sistema CAD. A perda da escala 1:1 parecia ser especialmente perturbante para os projectistas mais experientes, que baseavam a rotina de projecto não em mecanismos mentais de processamento numérico, mas sim gráficos.

As operações de detalhe, dimensionamento e comentário nos desenhos de moldes mostravam-se também muito mais caras no sistema CAD do que no estirador.

Mas uma operação típica de CAD para a qual o sistema se mostrou interessante – e que foi algo inesperada – foi na resolução de eventuais problemas dos desenhos técnicos recebidos de clientes. Em desenhos gerados pela via convencional a ocorrência de erros e inconsistências de geometria são uma



ocorrência bem conhecida e cuja resolução é por vezes cara e problemática. A construção de (parte da) geometria relevante em 3D e a extracção de cotas permitiu ultrapassar mais rapidamente problemas desse tipo e que eram correntes.

Por outro lado a realidade de fabrico não seguia o modelo puramente sequencial subjacente ao conceito inicialmente descrito: o arranque do desbaste e mesmo da maquinação das zonas moldantes iniciava-se frequentemente antes do projecto do molde estar completo, e isso tendia a ser tanto mais importante quanto mais complexas fossem as zonas moldantes.

Rapidamente se consolidou uma estratégia de representar num modelo CAD 3D apenas a geometria da peça relevante para a geração de programas NC necessários para a maquinação e deixar o processo de projecto propriamente dito independente do CAD, por se mostrar a solução mais atractiva para utilização dos recursos disponíveis escassos (basicamente o numero limitado de horas de terminais gráficos disponíveis, apesar de a partir de 1985 se ter passado a explorar o sistema a pelo menos dois turnos e se terem adicionado mais dois terminais gráficos).

O aumento da complexidade das formas a maquinar rapidamente trouxe um problema adicional: a inadequação das fitas perfuradas como suporte para longas sequências de programas NC. Para isso desenvolveram-se soluções, já então baseadas em PCs, capazes de executar um programa NC directamente a partir de uma disquete e de operar em simultâneo com vários centros de maquinação. O programa NC era transmitido do sistema CAD/CAM para o PC e daí para os centros de maquinação em tempo real.

Mas o problema principal dos primeiros anos de exploração do sistema viria ser o problema do controlo de qualidade. Erros dos programas NC em maquinações complexas podiam ter consequências desastrosas. Uma falha de décimas de milímetros em maquinações longas (que podiam ser de centenas de horas na máquina ferramenta) tinham um enorme impacto financeiro e acima de

tudo no prazo de entrega. Ora as facilidades CAM do sistema não eram ainda cem por cento robustas. Os programas de pré-visualização da maquinação e de detecção de intersecções entre a ferramenta e o material tinham ainda limitações. Muito dependia ainda do operador e da sua concentração e perspicácia na interpretação do que se passava no monitor.

E o controlo de qualidade do próprio modelo 3D da peça, geralmente (re)construído ou a partir de desenhos 2D do cliente, ou a partir de cotas digitalizadas de um modelo, ou a partir de modelos CAD do cliente transferidos via IGES, mostrou-se um problema muito complexo de gerir, mas obviamente crítico. Daí a necessidade de por um lado se definirem regras precisas de controlo de algo imaterial (o próprio modelo CAD 3D) e a importância de correr testes de maquinação em materiais soft (do tipo espuma). Estes testes naturalmente que ocupavam o centro de maquinação e esse tempo máquina adicionava um custo substancial à programação. Curiosamente a grande experiência adquirida em maquinasar modelos de teste em materiais “soft” constituiu um importante capital para a criação da SET alguns anos depois, empresa especializada no desenvolvimento cooperativo de produtos e sua prototipagem.

Apesar das dificuldades, o sistema foi usado de forma intensa. Dados da altura mostram que em 1986 e 1987 foram feitos entre 400 a 500 “obras” por ano para cerca de doze empresas diferentes, e que mais de metade do tempo de trabalho disponível (cerca de 20 mil horas por ano) foi alocado a maquinação de zonas moldantes, geralmente o tipo de “obra” de CAD/CAM mais sofisticado e exigente. A programação NC de eléctrodos para electroerosão por penetração tinha já algum significado. Cerca de um quarto do tempo restante de terminais era dedicado à programação NC de peças para estruturas de moldes (para as quais se tinha também desenvolvido algum software especializado). O remanescente era associado a aplicações mais orientadas para CAD (ma não desenhos de projecto de moldes).

O grupo de CAD/CAM tinha então 14 pessoas.

Um promocional do grupo, de 1986, falava então em mais de 8000 programas NC produzidos para a fabricação de cerca de 2500 peças diferentes relativas a 300 zonas moldantes e 500 estruturas de moldes.

### **CAE (Moldflow)**

Em 1986 a Iberomoldes adquiriu-se uma licença Moldflow, um software CAE (computer aided engineering) de análise do fluxo (não newtoniano e não isotérmico) do material plástico no interior do molde, vocacionado para o projecto do molde, em especial os pontos de injeção, as linhas de união e a previsão de possíveis empenos da peça. Sendo uma tecnologia CAE que se começou por divulgar junto dos fabricantes de peças plásticas na fase de projecto de peça, a sua integração com os modelos CAD da peça plástica era uma óbvia sinergia altamente valorizada pelos fabricantes de sistemas e pela Moldflow (Bernhardt, 1983).

Mas na altura a realidade dos fabricantes de moldes era uma vez mais diferente, e CAE para fabricantes de moldes tinha um contexto e exigências diferentes do CAD para projectistas das peças plásticas. Logo a decisão foi instalar o Moldflow de forma não integrada com o restante sistema CAD/CAM, dadas as diferenças de exigências de definição de geometria e os diferentes “timings” associados. Para o fabricante de moldes o projecto da peça na altura aparecia já feito e definido pelo cliente. A definição de geometria necessária para a análise CAE era distinta da necessária para o CAM, em especial ao nível de superfícies (Beira et al, 1988).

Optou-se então por uma plataforma PC autónoma (um IBM AT com 640K de memória e co-processor aritmético 80287, equipado com um disco de 20 Mb, ligado a um pequeno plotter HP a cores) (Beira, 1987a), que tipicamente ocupava

a noite a processar os cálculos de elementos finitos, os quais eram objecto de definição e análise durante o dia.

A operação foi integrada num centro de projecto de moldes (8), uma estrutura autónoma dentro do grupo Iberomoldes, um centro de custos e proveitos tal como o grupo de CAD/CAM, e por rotina o projecto de um novo molde passava pelo seu estudo e simulação via Moldflow. Não só se melhorava assim o balanceamento das cavidades dos moldes, o dimensionamento e posicionamento dos canais de injeção, assim como as condições de moldação a usar, como também se apresentava ao cliente uma “certificação” do projecto do molde, algo comercialmente importante por si (Beira, 1987 a,b).

A introdução das análises de fluxo no projecto de moldes integram-se num movimento geral da Iberomoldes, e da indústria de moldes em geral, no sentido de adoptar métodos formais de engenharia na concepção e fabrico de moldes. O conhecimento da indústria sempre teve uma forte componente empírica, de “learning by doing”, que reflectia as suas origens essencialmente vocacionadas para uma produção oficial de peças únicas. Na década de 80 começa a formalizar-se um corpo de conhecimento específico e autónomo sobre engenharia de moldes, sempre algo ligado à engenharia de polímeros. Poucos textos técnicos sobre engenharia de moldes são bem conhecidos da indústria no início dos anos 80 (a excepção seria o texto de Menges e Mohren, 1974 e 1980). Poucas Universidades, na Europa e mesmo nos USA, tratavam da engenharia de moldes por si – algo que se começou a alterar na década de 80 e conheceu fortes desenvolvimentos na década de 90 (protagonizados em Portugal pelo Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho). A introdução do CAD/CAM e depois do CAE não podem deixar de ser vistos como componentes dessa visão mais geral.

## As workstations, os PCs e o AutoCad

Em meados dos anos 80 os sistemas de CAD/CAM abandonam as arquiteturas baseadas em minicomputadores e passam a basear-se em “workstations”, oferecendo soluções integradas com modelos sólidos (Rippiner,1986).

Mas em paralelo os PCs começam a ser suficientemente potentes para começar a suportar soluções de entrada. A literatura da altura reflecte bem o entusiasmo pelas perspectivas que os ubíquos PC prometiam para o CAD e aplicações de engenharia (Teicholz e Kilburn, 1983; Goldman, 1985; Bird, 1985), e mesmo CAM (Gettelman e Rauser, 1987, Goyer, 1987).

Vários softwares aplicativos começam a divulgar-se e a conhecer uma importância crescente, quer para CAM como para CAD (Jadricek, 1984; CAE, 1984; PC User, 1985).

O AutoCAD marca uma etapa fundamental e abre as portas da tecnologia às empresas que tinham “passado” a ronda dos sistemas CAD/CAM baseados em minicomputadores.

A saga do desenvolvimento da Autodesk como empresa (a partir da Marine Software Partners) e do AutoCad como software aplicativo são descritos em livro pelo seu principal mentor, John Walker (1989; 1994). A forma como o AutoCad emergiu de um “cluster” de projectos concorrentes para microcomputadores, inicialmente ainda baseados em sistemas operativos CP/M, numa estratégia diversificada e concorrente de “guerrilla programming” (sic!), sistemas fechados e ferramentas de software constitui um caso de análise fundamental para compreender o nascimento de um dos maiores sucessos da idade da software (9). “Add-ons” e bibliotecas de componentes standard começam entretanto a aparecer em AutoCAD 2D vocacionados para a indústria de moldes. A necessidade de bibliotecas de componentes padronizados sempre tinha sido compreendida como

um dos passos limitantes mais importantes ao uso de CAD no projecto de moldes (Akin, 1986), assim como a necessidade de programas integrados no CAD mas especializados para projecto de componentes como canais quentes (Urquhart, 1986).

Estes dois movimentos, quase simultâneos e concorrentes, dominam a oferta de CAD/CAM nos níveis de topo de gama e de entrada, nos últimos anos da década de 80. Ambos contribuem para a generalização do uso da tecnologia e para a sua massificação.

### **O ciclo seguinte**

Em 1985 desfaz-se a parceria da Iberomoldes com a RAR.

Em 1986 a Iberomoldes adquire, em parceria com um importante cliente (a Hasbro, um importante produtor de brinquedos complexos em plástico injectado) o controlo da Aníbal H. Abrantes, então uma empresa com cerca ... trabalhadores, consolidando-se com um grupo de referência a nível nacional e internacional. Nas negociações tidas pesou a capacidade tecnológica adquirida e a experiência de CAD/CAM e de operação intensiva de centros de maquinaria avançados que o grupo Iberomoldes podia já apresentar. As expectativas de integração da concepção de produto à fabricação do molde constituíram uma importante objectivo e justificação da parceria, antecipando um maior envolvimento da parte portuguesa na concepção técnica de produto – algo que só com uma integração através do CAD 3D seria viável (10).

Por outro lado essas capacidades também não deixaram de contribuir para os processos de transferência de tecnologia para países terceiros em que o grupo se começou a envolver na década de 80 (Beira et al, 1987).

Em 1987 a Iberomoldes substituiu o sistema UGI / PDP 11-70 por VaxStations correndo UGII (a nova versão de Unigraphics), o que representou

um salto importante nas capacidades de modelação geométrica e nas facilidades de maquinação complexa de superfícies livres, incluindo o desbaste (para além do acabamento).

Entretanto tinha iniciado um programa de instalação de programas em PCs para algumas das funções de CAD e de CAM locais. Por exemplo, o Centro de Formação do grupo – outra importante iniciativa da Iberomoldes dos anos 80 - passou a formar operadores de AutoCad, para além de operadores de Unigraphics (e para além de desenhadores convencionais em estirador). E para a programação de máquinas de electroerosão por fio foi instalado um sistema de programação já baseado num PC.

Mas nos finais da década de 80, com uma tecnologia com um custo mais acessível, com uma a experiência adquirida e com uma evolução dos modelos de negócio especializados dentro do grupo, as opções de alocação de recursos foram agora diferentes. Tinha passado a oportunidade do modelo centralizado de operações de CAD/CAM, que no início tinha permitido criar uma massa crítica e uma aprendizagem eficiente. As opções foram agora de descentralização, distribuindo pelas várias empresas facilidades de CAD e CAM de acordo com as suas necessidades, dando-lhes assim autonomia para as suas necessidades de programação NC. Para isso ajudou o aparecimento de uma nova geração de programas CAM – caso do Vericut, capaz de simular, verificar (colisões e intersecções de trajectórias) e otimizar a remoção da apara durante a maquinação.

Mas com base num grupo mais especializado cria-se uma nova empresa com um modelo de negócio novo, amadurecido nos anos do grupo de CAD/CAM de 1983 a 1987: a SET SA, uma empresa vocacionada para o desenvolvimento de produtos em “engenharia simultânea” com os clientes mais sofisticados. Capaz de trabalhar cooperativamente com o cliente no desenvolvimento integrado do modelo geométrico 3D do produto e de produzir protótipos (à escala 1:1, para o que foi equipada com máquinas ferramentas CNC apropriadas) desses mesmos

produtos, ao mesmo tempo que tinha em consideração o projecto de moldes associados, permitiu à Iberomoldes uma oferta de serviços para além da concepção e fabrico do molde, e estender essa oferta às fases iniciais da concepção do produto, subindo na cadeia de valor.

### **Conclusão: a tecnologia como um pilar de uma estratégia de estruturação empresarial**

Duas tecnologias contribuíram decisivamente para uma maior integração dos fabricantes de moldes na cadeia de valor: a telecópia, ainda nos anos 70 para desenhos 2D, e o CAD, nos anos 80, para modelos geométricos 3D de crescente complexidade, primeiro através de bandas magnéticas e posteriormente por comunicações directas e pela internet.

No início dos anos 90 começavam a estar maduras as tecnologias para trabalho cooperativo sobre modelos geométricos de sistemas diferentes. A tecnologias CAM passaram a incorporar cada vez mais “inteligência” capaz de não só sugerir as condições de maquinação e ferramentas mais apropriadas como estabelecer estratégias optimizadas para os sucessivos programas de maquinação necessários à produção da obra final (Mason, 1999).

A Iberomoldes foi precursora na adopção dessas tecnologias, adoptando-as num estado ainda precário de desenvolvimento. Como “first mover” colheu benefícios, mas também dificuldades acrescidas que a concorrência pode evitar parcialmente entrando mais tarde e com menos esforço financeiro.

Nos primeiros anos (83 a 87) é muito difícil argumentar que o investimento da Iberomoldes em CAD/CAM tenha sido rentabilizado apenas por melhorias de produtividade associadas à fabricação de moldes. O peso da curva de aprendizagem foi muito pesado.



Mas foi um investimento estratégico que a posicionou e acabou por constituir um pilar do seu desenvolvimento empresarial. Note-se o papel importante que um aproveitamento atempado de parcerias permitiu para o processo “co-evolutivo” de crescimento do grupo e de adopção de tecnologias avançadas, assim como a enorme importância comercial e de marketing institucional que o CAD/CAM assumiu para a afirmação da empresa junto dos grandes clientes internacionais e dos seus concorrentes.

Um dos principais protagonistas desta história escrevia em 1985 que “o CAD/CAM não é para dar lucros este ano. É para nos mantermos competitivos daqui a 10 anos” e falava da expectativa de “tomar uma decisão certa no uso de recursos limitados que permitissem manter a vanguarda e a liderança, inclusive a nível internacional” (Santos 1985, 1986).

As limitações dos modelos tradicionais de avaliação de investimentos em tecnologias emergentes são bens conhecidas e foram muito discutidas na década de 80 acerca da “racionalidade financeira” dos investimentos em CAD/CAM e em CIM (ver, por exemplo, Kaplan (1986), Hayes e Jaikumar (1988) assim como Avishai (1989)). Este caso corrobora muita dessas considerações.

Por um lado porque mostra a importância da criação interna de conhecimento operacional sobre o uso e exploração de uma tecnologia em evolução e a sua integração dinâmica na “visão” do futuro e do negócio, o que facilitou a endogenização da tecnologia quando o seu amadurecimento fez desaparecer muito do seu posicionamento de diferenciação competitiva que caracterizara os anos 80. As tecnologias de posicionamento competitivo que começam a emergir nos 90 baseiam-se certamente naquelas, mas apontam para novas direcções (especialmente a prototipagem rápida e a crescente “engenharia” do projecto de moldes).

Mas sem uma liderança simultaneamente clarividente e prudente, capaz de alavancar as potencialidades competitivas do posicionamento tecnológico na exploração de parcerias comerciais e institucionais, por vezes com importantes

reflexos ao nível do desenvolvimento do seu próprio modelo empresarial, certamente que o investimento na tecnologia e o risco assumido podiam ter tido outros efeitos bem diferentes sobre o futuro da Iberomoldes.

## Notas:

- (1) Curiosamente a maioria das empresas relevantes – incluindo o CADDs da ComputerVision e o Unigrafics da McDonnell Douglas (McAuto) - que entraram no mercado de sistemas CAD na década de 70 basearam o seu software aplicativo central em licenças OEM da MCS – Manufacturing and Consulting Services, Inc., uma empresa sediada no Arizona e liderada por Patrick Hanratty, que havia sido o pai do sistema PRONTO, em 1957, e que é conhecido como o primeiro sistema comercial para programação de dispositivos com controlo numérico ( <http://www.anvil5k.com/about/history.htm> ). A MCS continua a fornecer sistemas avançados de CAD/CAM sob o nome comercial de ANVIL.

Patrick Hanratty , que foi também professor na Universidade da Califórnia, é um dos especialistas e empreendedores mais reconhecidos na indústria de CAD/CAM, a par com Ivan Sutherland, outro académico e empreendedor cujos trabalhos em meados dos anos 60 criaram o moderno conceito de interface gráfica para a comunicação homem-computador.

- (2) O sistema CADAM seguia uma metodologia e uma interface clara de “desenho assistido”, sendo especialmente atraente e produtivo para desenhadores técnicos de formação convencional em estirador, ao contrário de sistemas CAD baseados em modelos 3D . Não tinha no entanto facilidades CAM de maquinação a partir de modelos 3D.
- (3) As pessoas que mais estiveram envolvidas no processo de selecção do sistema foram os sócios da Iberomoldes (Joaquim Menezes e

Henrique Neto), um administrador da RAR – Holding (José Fernando P. Santos) e Eduardo Beira, então com responsabilidades na área de negócios de informática do grupo RAR, baseadas em soluções de médio porte da IBM.

- (4) Eng. Jorge Horta, actualmente responsável pela Autodesk em Portugal. Antes de assumir responsabilidades ibéricas na Computer Vision, foi quadro da Setenave, onde teve responsabilidades na instalação do respectivo sistema pioneiro em Portugal.
- (5) A A1 Tool, uma empresa que havia então sido adquirida pelo grupo Beatrice Foods. Já com uma experiência significativa com programas NC em suporte de fita perfuradas geradas em minicomputadores (sistemas apenas de CAM, do tipo Diaprog), estava também no processo de decisão por um sistema CAD/CAM, tendo optado por um sistema Unigraphics. E estava muito consciente das dificuldades do 3D para os projectistas tradicionais da indústria, apesar da sua importância para a maquinação de superfícies complexas.
- (6) Que atenderam uma chamada “a frio” do grupo, às 6hr da tarde, e aceitaram de imediato fazer uma demonstração, que foi esclarecedora, e acabaram por ficar até de madrugada a discutir o tema. Há que reconhecer que numa altura em que as ferramentas especializadas (software, claro) de CAD para mecânica eram ainda muito generalistas, a qualidade dos demonstradores de um sistema era crítica, em especial a sua compreensão da indústria e da sua forma de operar no “shopfloor”. Neste caso o grupo teve a sorte de encontrar uma equipe experiente em mecânica e no uso corrente de máquinas

ferramentas programáveis, para quem as potencialidades e idiosincrasias do CAM 3D da altura eram familiares.

- (7) Liderada pelo Eng. Emanuel Ramalhão e pelo Eng. Carlos Monteiro. A equipe começou a ser construída e treinada ainda antes da aquisição do sistema.
- (8) A primeira analista de projecto de moldes com Moldflow foi a Dra .  
.....O Centro de Projecto era então liderado pelo Eng. .... .
- (9) O nome inicial do produto era MicroCAD, lançado em 1982, e não AutoCAD. Autodesk era inicialmente o nome para uma aplicação tipo “cardex” / “office automation”, mas acabou por ser adoptado para nome da empresa.
- (10)A parceria da Iberomoldes com a Hasbro conheceu depois alguns percalços, fruto de dificuldades da própria Hasbro nos USA. Em 199.... a Iberomoldes adquiriu o controlo da maioria do capital da Aníbal H. Abrantes.

## Referencias bibliográficas:

Alique, J. R., “Control numérico”, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona, 1981

Akin, D., “Computer aided design: developing a library for mold design”, Antec Conference, 1986, pg. 212

Avishai, B., “A CEO’s common sense of CIM: an interview with J. Tracy O’Rourke”, Harvard Business Review, Janeiro – Fevereiro 1989, pg109

Beira, E., “Os computadores e a indústria de moldes”, I Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 28 a 30 de Janeiro de 1983 (Actas publicadas em 1985)

Beira, E., “Experiência de uso de CAD/CAM na indústria portuguesa de moldes”, “Simpósio CAD/CAM”, promovido pela Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 16-17 de Outubro, Porto, 23-24 de Outubro de 1986

Beira, E., “CAD/CAM/CAE na indústria de moldes”, 1<sup>as</sup> Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, Ordem dos Engenheiros (Lisboa), 9 a 11 de Dezembro de 1987 (a)

Beira, E., “Iberomoldes decision to install CAE”, documento preparado para a Mouldflow (UK), 1987 (b)

Beira, E., “O CAD/CAM na indústria de moldes: a experiência da Iberomoldes”, Plásticos / 88 (Revista da Comissão de Finalistas do curso de Engenharia de Produção – ramo de plásticos), Universidade do Minho, 1988

Beira, E., R. Gomes, P. Castro, R. Feio e B. Macedo, “CAD/CAM em mesa redonda”, Tecnometal, nº 57, Julho / Agosto de 1987

Beira, E., “Algumas reflexões sobre o CAD/CAM e a indústria de moldes”, 2<sup>a</sup>s Jornadas Técnicas de Engenharia Mecânica, Ordem dos Engenheiros (Região Norte, Comissão de Especialidade de Engenharia Mecânica), Porto, 20 e 21 de Abril de 1989

Beira, E. e J. Santos, “CAD/CAM in mouldmaking: Iberomoldes (Portugal)”, Seminário Fabrimetal, Heverlee, 31 de Março de 1987

Beira, E., J. Santos, J. Menezes e H. Neto, “Exportação de tecnologia portuguesa na indústria de moldes: a experiência da Iberomoldes”, Jornadas Nacionais de Investigação Científica e Tecnológica, Lisboa, 11 a 15 de Maio de 1987

Bernhardt, E., “CAE Computer aided engineering for injection molding”, Hanser Publishers, 1983

Bird, “Turning your PC into a CAD workstation”, Data Processing, 27 (nº 5) junho 1985, pg. 22

Bozdoc, M., “The history of CAD”, <http://mbinfo.digitalrice.com/CAD-History.htm>

CAE, “CAD/CAM on personal computers”, CAE, Julho /Agosto 1984, pg. 66

Duarte Cunha, J., “Panorâmica das actividades de CAD no LNEC”, Revista de Informática (API), Janeiro de 1987

Fonseca, A., “A instalação de um sistema CAD/CAM no LNETI ao serviço da indústria”, Congresso 81 (tema 5, comunicação 12), Ordem dos Engenheiros, 1981

Fonseca, A. et al, “Centro de CAD/CAM do LNETI: passado, presente e futuro”, 2<sup>as</sup> Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, Ordem dos Engenheiros (Lisboa), 10 a 12 de Maio de 1989.

Gettelman, K. e D. Rauser, “Big start from simple CAD”, Modern Machine Shop, Fevereiro 1987, pg. 50

Goldman, G., “Micro-based CAD: a production tool for manufacturing engineering”, Computer Graphics Forum, 4 (1985) 287

Gomes, J. S., “Indústria dos moldes em Portugal: trajectórias empresariais de sucesso”, GEPE (Gabinete de Estudos e Prospectiva Económica), Ministério da Economia, Lisboa, 1998

Goyer, “From NC to CIM”, Modern Machine Shop, Fevereiro 1987, pg. 74

Hayes, R. e R. Jaikumar, “Manufacturing’s crisis: new technologies, obsolete organizations”, Harvard Business Review, Setembro – Outubro 1988, pg. 76

Harvey, M., “CAD/CAM pour l’outilleur”, International Conference for the Tool, Die and Mould Industry, ISTA (International Special Tooling Association), Zurique, 25 a 30 de Maio de 1986



IAPMEI, “Novas Tecnologias”, Centro para o Desenvolvimento e Inovação Tecnológica e Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas Industriais, Maio de 1985

Jack, H., “CAD history”, <http://claymore.engineer.gvsu.edu/eod/design/design-133.html>

Jadrnicek, R., “Computer aided design – significant power is coming for desktop microcomputers”, Byte, Janeiro 1984, pg. 172

Kaplan, R., “Must CIM be justified by faith alone?”, Harvard Business Review, Março – Abril, 1986, pg 86

LoPiccolo, P., “25 years retrospective. Part 2: CAD / CAM / CAE”, Computer Graphics World, Fevereiro 2002

MacKenzie, D. e J. Wajcman, “The social shaping of technology”, Open University Press, 1985

Mason, F., “How smart is today’s CAM software?”, Machine Shop Guide, Setembro 1999

Mazzoleni, “Innovation in the machine tool industry: a historical perspective on the dynamics of comparative advantage”, in Mowery e Nelson (eds.) (1999)

Menges, G. e G. Mohren, “Moldes para inyección de plásticos”, GG Editorial Gustavo Gil, SA., Barcelona, 1980 (2ª edição) (original 1ª edição 1974)

Monteiro, C., “CAD/CAM – nova ferramenta no projecto e produção de moldes”, II Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 29 a 31 de Março de 1985 (Actas publicadas em 1987)

Mowery, D. e R. Nelson, “Sources of industrial leadership: studies of seven industries”, Cambridge University Press, 1999

Neto, H., “CAD/CAM e industria de moldes”, II Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 29 a 31 de Março de 1985 (Actas publicadas em 1987)

Noble, D., “Social choice in machine design: the case of automatically controlled machine tools”, in MacKenzie e Wajcman (1985)

Noble, D., “Forces of production. A social history of industrial automation”, Oxford University Press, 1986 (1ª ed: 1984)

Nuñez, J. G., “El control numérico y la programación manual de las máquinas herramienta con control numérico”, Urmo SA DE Ediciones, Bilbao, 1984

Orr, J., “History of CADD and PLM”, <http://www.joelorr.com/id55.htm>

Otto, N., “NC milling machines with manual data input”, Industrial & Production Engineering, 3 (1980) 144

PC User, “Design and the personal computer”, PC User, Abril 1985, pg. 106

Pillers, M., “MCAD renaissance of the 90's: a report on the state of the art”, Cadence Magazine, nº3, 1998

Ramalhão, E., “Utilização de máquinas de controlo numérico na industria de moldes para plásticos”, I Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 28 a 30 de Janeiro de 1983 (Actas publicadas em 1985)

Rippiner, H., “Workstations – present and future trends”, CAD International Directory, 1986, pg. 17

Santos, J., “CAD/CAM and new technologies: the management issues”, Seminário Internacional “CAD/CAM: novas tecnologias para o desenvolvimento”, Marinha Grande, 1 e 2 de Fevereiro de 1986 (uma versão preliminar tinha sido apresentada no “Workshop JNICT/NAS/USAID on innovation in traditional light industries”, Pova de Varzim, Outubro de 1985).

Teicholz, E. e P. Kilburn, “Low cost CADD at work”, Datamation, Janeiro 1983, pg.103

Urquhart, M., “Future trends in mold design”, Antec Conference, 1986, pg. 196

Walker, J., “The Autodesk file: bits of history, worlds of experience”, 3ª ed., New Riders Publ., 1989 (4ª ed., 1994, <http://www.fourmilab.ch/autofile>)

## Quadro I – Alguns eventos importantes da divulgação e difusão do CAD/CAM em Portugal

- 1980 – Sistema monoposto ComputerVision, Setenave
- 1981 – Sistema multiposto ComputerVision Designer IV, Departamento de Electromecânica e Electrónica, LNETI (Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial)
- 1983 – Instalação do sistema multiposto Unigraphics I (McAuto) na Iberomoldes, baseado em PDP 11/70
- 1983 – I Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 28 a 30 de Janeiro de 1983 (Actas publicadas em 1985)
- 1983 – Colóquio “A industria dos plásticos e o desafio do futuro”, Ordem dos Engenheiros (Região Norte, Comissão de Especialidade de Engenharia Química), Porto, 11 de Novembro de 1983.
- 1985 – II Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 29 a 31 de Março de 1985 (Actas publicadas em 1987)
- 1986 – Seminário Internacional “CAD/CAM: novas tecnologias para o desenvolvimento”, promovido pela API – Associação Portuguesa de Informática e pela IFIP (TC5), Marinha Grande, 1 e 2 de Fevereiro de 1986
- 1986 - “Simpósio CAD/CAM”, promovido pela Ordem dos Engenheiros (Lisboa, 16-17 de Outubro, Porto, 23-24 de Outubro)

- 1986 – Painel “CAD/CAM: a experiência portuguesa”, 4º CPI - Congresso Português de Informática, promovido pela Associação Portuguesa de Informática (moderador: Eduardo Beira) (Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 23 a 27 de Junho de 1986).
- 1987 – Instalação de Mouldflow (CAE) na Iberomoldes
- 1987 – Revista de Informática publica um número especial sobre CAD/CAM (vol. 6, nº1, Janeiro de 1987)
- 1987 - 1ªs Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, Ordem dos Engenheiros (Lisboa), 9 a 11 de Dezembro de 1987.
- 1988 – Sistema baseado em Caddstations Computervision, Salvador Caetano IMVT SA. (Divisão Fabril de Gaia)
- 1988 – Unigraphics II em Vaxstations nas empresas da Iberomoldes
- 1988 – III Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 4 a 6 de Novembro de 1988 (Actas publicadas em 1989)
- 1989 – 2ªs Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, promovidas pela Ordem dos Engenheiros (Lisboa, Feira Internacional de Lisboa, 10 a 12 de Maio)

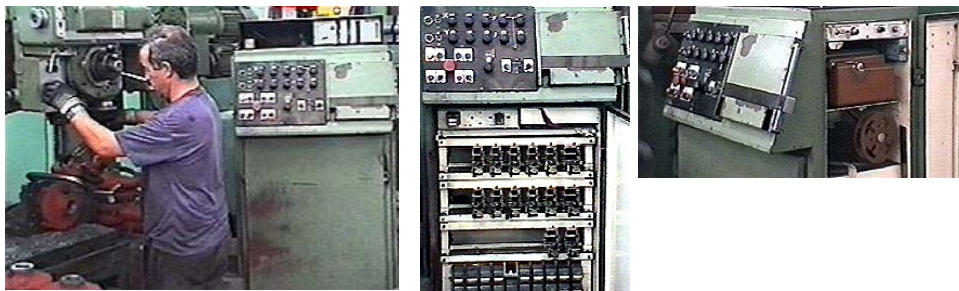
- 1989 - 2<sup>a</sup>s Jornadas Técnicas de Engenharia Mecânica, Ordem dos Engenheiros (Região Norte, Comissão de Especialidade de Engenharia Mecânica), Porto, 20 e 21 de Abril de 1989
  
- 1991 - 3<sup>a</sup>s Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, Ordem dos Engenheiros (Lisboa), 4 a 6 de Dezembro de 1991
  
- 1992- IV Congresso da Industria de Moldes, Marinha Grande, 27 a 29 de Novembro de 19928 (Actas publicadas em 1993)
  
- 1993 - 4<sup>a</sup>s Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, Ordem dos Engenheiros (Lisboa), 17 a 19 de Maio de 1993.
  
- 1995 - 5<sup>a</sup>s Jornadas Nacionais de projecto, planeamento e produção assistidas por computador, Universidade do Minho, Guimarães, Maio de 1995.

## Fotos (ver file separado)

- 1 - Controlador de GSP (relais)
- 2 - Handler de teste
- 3 - Sistema PDP 11/70 da DEC
- 4 - Terminal gráfico de UGI
- 5- Terminal gráfico de UG I modificado (PC em vez de PFK)
- 6 - Plotter
- 5- Plotter (imagem IAPMEI)
- 6- Perfurador de fita
- 7- Modelo de espuma
- 8- Zona moldante correspondente ao modelo de espuma
- 9- Sistema de CAE baseado em PC

**Figura 1**

**Máquina de furar GPS programável**, com controlador electromecânico por relais, semelhante à primeira máquina ferramenta programável adquirida pela Iberonorma em 1979. Imagens de uma máquina semelhante, ainda operacional (1998), numa empresa do grupo Efacec. À esquerda do operador pode ver-se o controlador, que aparece na imagem central com a caixa aberta, vendo-se ainda os relais electromecânicos. Na imagem da direita vê-se o leitor de fita perfurada, integrado na caixa do controlador.





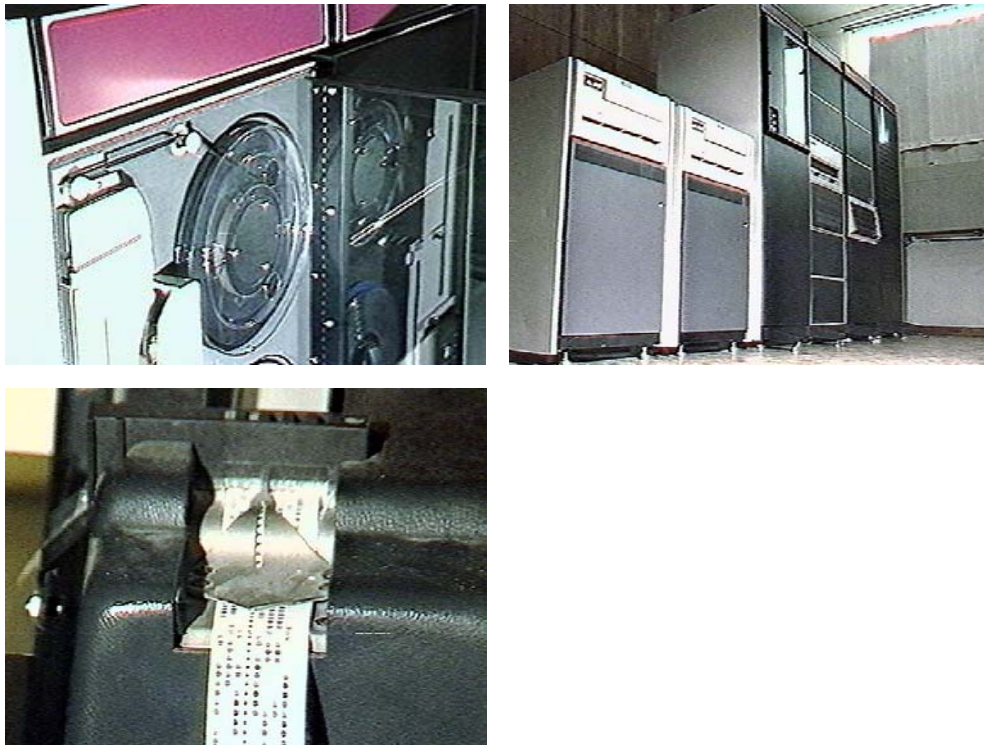
**Figura 2**

**Máquina de fresar Deckel ....** com controlador NC programável, típica da primeira geração de máquinas ferramentas programáveis por “key-in” (Aníbal H. Abrantes, anos 80).



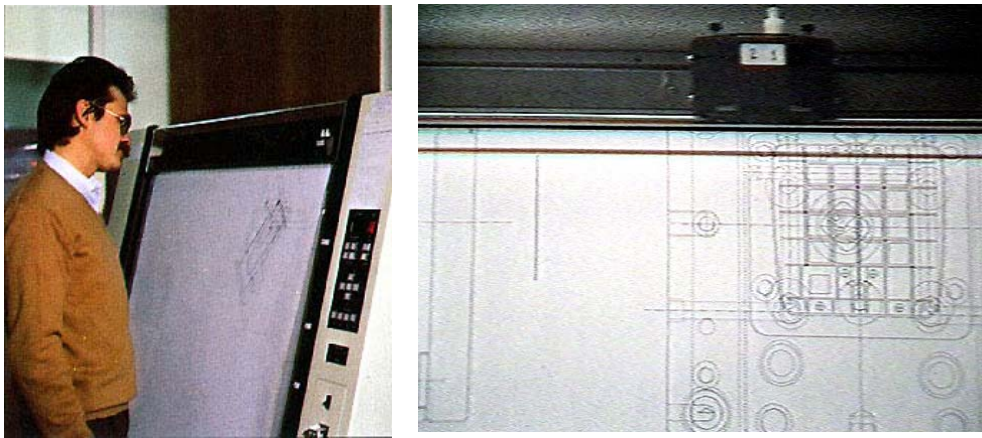
**Figura 3**

**Unidade central baseado em PDP 11/70:** unidade de bandas, sistema central (unidade de discos em primeiro plano) e perfurador de fita



**Figura 4**

**Plotter Calcomp A0** do sistema de CAD/CAM (foto IAPMEI, 1985, à esquerda).  
Junto ao plotter encontra-se o Eng. Carlos Monteiro, um dos responsáveis do grupo de CAD/CAM.



**Figura 5**

**Terminal gráfico Unigraphics I** , originais, baseados em ecrans vectoriais e monocromáticos Tektronix 4014.

O terminal incluía um teclado adicional (o PKF) e ainda um monitor não gráfico no topo do terminal gráfico. Na foto da esquerda encontra-se o Eng. Emanuel Ramalhão, um dos responsáveis do grupo de CAD/CAM.



**Figura 6**

**Terminais gráficos do sistema Unigraphics I**, posteriormente adicionados ao sistema (1986). Em vez do PKF e do monitor não gráfico era usado um PC corrente (à esquerda), numa adaptação desenvolvida internamente. O monitor gráfico (ainda Tektronix) era de maior dimensão.



**Figura 7**

Sistema CAD para programação de uma máquina de electroerosão por fio, baseado em PC (instalado na Celectro)





**Figura 8**

**Sistema CAE (Moldflow) baseado em PC.**



**Figura 9**

Testes de maquinação em espuma e zona moldante na máquina

