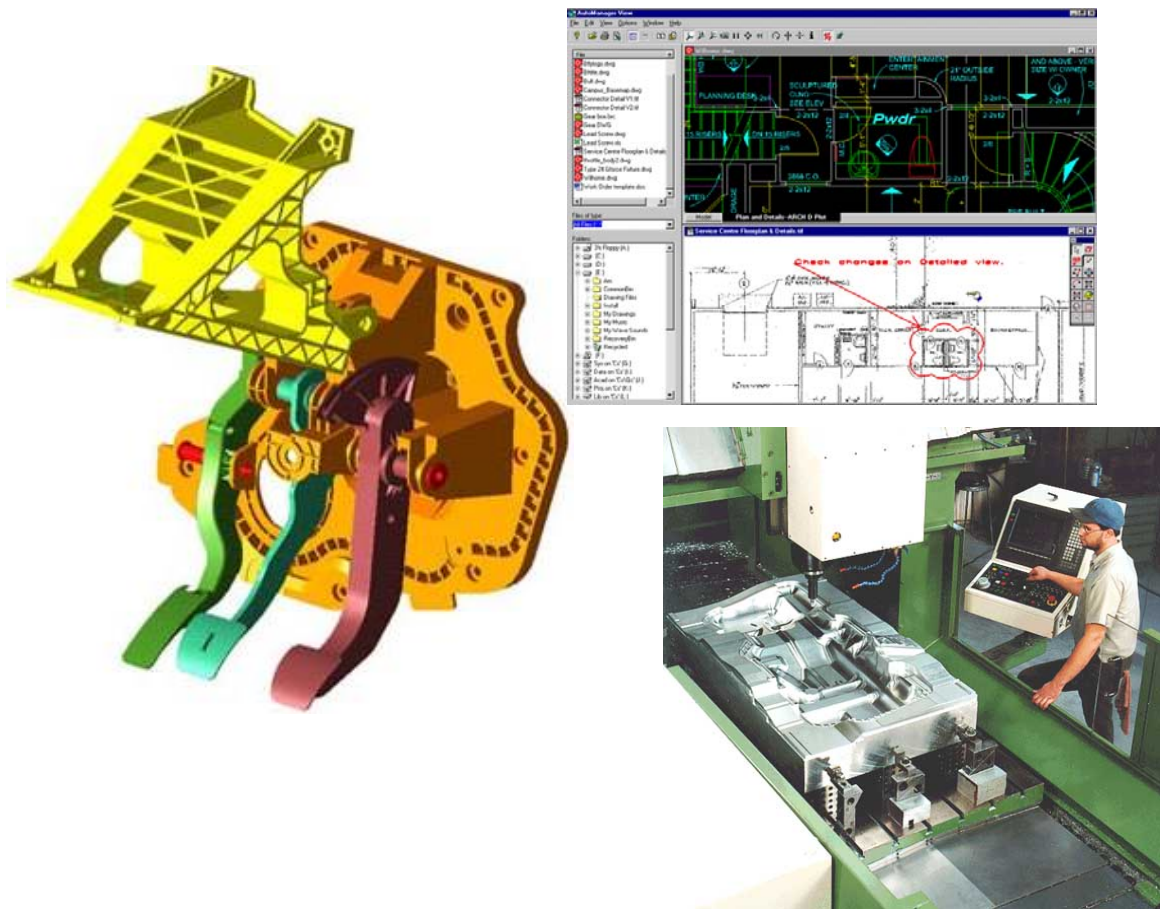


# EPD 030

## Sistemas Integrados de Manufatura

Disciplina oferecida ao Curso de Engenharia de Controle e Automação



*Apostila.*

**Eduardo Romeiro Filho**

Designer Industrial pela Escola Superior de Desenho Industrial da UERJ  
DSc. Engenharia de Produção pela Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia da UFRJ  
Professor do Departamento de Engenharia de Produção da UFMG

**Belo Horizonte, Agosto de 2004.**

Universidade Federal de Minas Gerais  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
Departamento de Engenharia de Produção



Romeiro Filho, Eduardo. 2004. Sistemas Integrados de Manufatura - Apostila do Curso. Segundo semestre de 2004. Belo Horizonte: LIDEP/DEP/EE/UFMG

Organizado em Agosto de 2004, primeira impressão aos 18 dias do mês.

## **Ementa:**

Tecnologia de grupo. Tecnologias de produção: células de manufatura, sistemas flexíveis de manufatura, linhas transfer, sistemas de manipulação e robôs. Relacionamentos produto-processo-tecnologias de produção. Sistemas integrados de manufatura. Manufatura integrada por computadores: CAD, CAPP, CAM e CAQ. Engenharia simultânea. Escalonamento da produção.

## **Método:**

O curso será realizado basicamente através de aulas expositivas; realização de trabalho em grupo; exercícios práticos em aula; e a presença de palestrantes convidados, para tratamento e discussão de temas específicos.

## **Avaliação:**

Será realizada a partir de duas avaliações individuais, ao longo do curso, pela entrega de duas resenhas por aluno e pela apresentação de um tema proposto em sala, na forma de “seminários da disciplina”. Estes deverão tratar o tema abordado por meio de (1) revisão de literatura e (2) descrição de casos práticos, sempre que possível. A apresentação será avaliada em função de sua consistência (cuidado com a elaboração, adequação ao tempo previsto, preparação e postura dos apresentadores etc.) do domínio do tema por todos os membros do grupo e pelo respeito ao tempo proposto (de 30 a 40 minutos de apresentação). O grupo preparará um texto de apoio à apresentação, de 5 a 10 páginas, que não poderá ser cópia ou compilação de referencial bibliográfico, e também será objeto de avaliação. Este texto deverá seguir as normas da ABNT.

## Programa Preliminar:

Nº	Data	Assunto
1.	17/8	Introdução à disciplina e atividades de avaliação
2.	19/8	Diferentes formas de Produção. Histórico do Desenvolvimento Industrial
3.	24/8	Relacionamentos produto-processo-tecnologias de produção.
4.	26/8	O Produto e seu Ciclo de Vida. Relações entre produto, produção e integração.
5.	31/8	Tecnologias de informação na implementação do CIM
6.	2/9	A Informática na Produção; Manufatura Integrada por Computadores
7.	7/9	FERIADO
8.	9/9	Tecnologias Informáticas na Implementação do CIM. Sistemas Integrados de Manufatura.
9.	14/9	Sistemas integrados CAE/CAD/CAM
10.	16/9	Aplicação de Tecnologias CAE/CAD/CAM em produtos e sistemas integrados.
11.	21/9	Palestra: Aplicações CAD em Siderurgia (Resenha: 5 pts*).
12.	23/9	Primeiro Exercício Individual de Avaliação (40 pts).
13.	28/9	Sistemas Inteligentes; Gerenciamento de operações e tecnologia de processo.
14.	30/9	Tecnologias de processamento de materiais e informação; tecnologias de interação com o consumidor.
15.	5/10	Tecnologia de grupo: Generalidades.
16.	7/10	Tecnologia de grupo: Algoritmos.
17.	12/10	FERIADO.
18.	14/10	Seminários da disciplina (10 pts) e texto de apoio (10 pts)
19.	19/10	Seminários da disciplina (10 pts) e texto de apoio (10 pts)
20.	21/10	Seminários da disciplina (10 pts) e texto de apoio (10 pts)
21.	26/10	Seminários da disciplina (10 pts) e texto de apoio (10 pts)
22.	28/10	FERIADO.
23.	2/11	FERIADO.
24.	4/11	Células de manufatura I
25.	9/11	Células de manufatura II
26.	11/11	Sistemas de manipulação e robótica
27.	16/11	Visita técnica SENAI EL (a confirmar – Resenha: 5 pts*).
28.	18/11	Engenharia simultânea I.
29.	23/11	Engenharia simultânea II.
30.	25/11	Engenharia simultânea II.
31.	30/11	Palestra: A integração em empresa de autopeças (Resenha: 5 pts*)
32.	2/12	Segundo Exercício Individual de Avaliação (30 pts)
33.	7/12	Entrega das notas e avaliação do curso

\* Obs: Às resenhas entregues será atribuído um valor máximo de 10 pontos. Desta forma, cada aluno deverá redigir APENAS DUAS resenhas, a sua escolha. As resenhas caracterizam-se como exercícios individuais.

# O Setor de Projetos e as Novas Tecnologias: Elementos para uma Discussão<sup>1</sup>.

**Eduardo Romeiro Filho**

Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Produção  
Rua Mantena, 334/304 - Bairro Ouro Preto - 30310.430 - Belo Horizonte - MG

[romeiro@dep.ufmg.br](mailto:romeiro@dep.ufmg.br)

## RESUMO:

A utilização de novas tecnologias de base microinformática pode auxiliar em muito a geração, tratamento, difusão e intercâmbio de informações em tempo real, mesmo a grandes distâncias, pontos relevantes para o desenvolvimento projetual no atual estágio de desenvolvimento econômico e diante do atual quadro competitivo. Neste caso, a empresa que desenvolve o projeto poderá consultar seus fornecedores a respeito das características mecânicas de determinada peça, bem como sugerir alterações pertinentes. As vantagens trazidas, entretanto, somente poderão ser efetivamente observadas a partir de modificações implantadas no próprio processo projetual, adequando-o às novas ferramentas tecnológicas. Este artigo busca apresentar e discutir algumas destas ferramentas, notadamente aquelas ligadas à comunicação e à integração entre diferentes equipes de projeto, a partir de revisão bibliográfica sobre o assunto.

## PALAVRAS-CHAVE:

Projeto do produto; CAD (Computer Aided Design, ou Projeto Auxiliado por Computador), Engenharia Simultânea.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de projetos em uma empresa é basicamente responsável, segundo a diretriz 2210 da VDI (*Verein Deutscher Ingenieure*, Associação dos Engenheiros Alemães), citada por SCHEER (1993), pela elaboração de novos projetos, adaptação de já existentes, projetos de variações e projetos normalizados e fixos. Segundo o autor, o processo de elaboração de projetos pode ser subdividido da seguinte forma:

- Concepção: Análise de especificações, compilação de variações de soluções e sua avaliação;

- Desenvolvimento: Especificações do conceito de solução, projeto em escala, construção de modelos, avaliação de soluções;

- Detalhamento: Representação das partes individuais e avaliação de soluções.

Esta visão acerca do processo projetual, apesar de pertinente, nos parece demasiadamente simplificada. O papel do setor de projetos é bem mais complexo do que pode parecer em princípio, principalmente nos casos de produtos que possuam níveis relevantes de inovação, como os colocados na condição de novos projetos (e não da adaptação ou melhoria de produtos já existentes). Sendo assim, torna-se interessante uma investigação um pouco mais profunda das funções deste setor e das diferentes metodologias utilizadas para a concepção

---

<sup>1</sup> Artigo originalmente apresentado no **II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. São Carlos, SP: UFSCar, Agosto de 2000.

de produtos, colocados aqui de maneira bastante ampla. Colocam-se como produtos, desta forma, artefatos concebidos, desenvolvidos e construídos pelo homem, desde um parafuso até um navio ou edifício. A partir das características de cada produto concebido, BACK (1983) diferencia dois tipos de projeto: aquele desenvolvido por evolução e outro, por inovação.

### 1.1. Projetos por Evolução e Inovação.

Os projetos por evolução são aqueles nos quais as descobertas científicas e tecnológicas são agregadas a modelos precedentes, sem que haja entretanto modificações radicais nos princípios tecnológicos do produto. Um exemplo deste tipo, na área da informática, é o das impressoras. O mercado foi até o início da década de noventa basicamente dominada por impressoras do tipo matricial, com diferentes modelos cuja crescente sofisticação refletia uma evolução tecnológica constante.

Este mercado foi, no entanto, ameaçado pelo aparecimento das primeiras impressoras de tecnologia laser, que ofereciam significativo aumento na qualidade de impressão, apesar de custos bastante elevados. A tecnologia laser associada à impressão pode ser considerada como uma forma de projeto por inovação, onde uma nova tecnologia rompe com as condições do mercado.

O surgimento das impressoras de tecnologia laser não representou, entretanto, uma definitiva ameaça ao mercado das matriciais devido, principalmente, ao alto custo representado pelas novas impressoras em relação às aquelas já existentes. O que houve foi uma segmentação deste mercado, com as impressoras laser ocupando determinados nichos onde a qualidade de impressão representava um fator fundamental e onde havia a necessidade de grandes tiragens de documentos personalizados (extratos bancários para envio pelo correio, por exemplo).

Se as impressoras de tecnologia laser não foram suficientes para abalar definitivamente o mercado das matriciais, isso ocorre com o desenvolvimento da tecnologia de impressão a jato de tinta que oferece uma impressão de alta qualidade (embora não atinja ainda os níveis de algumas das impressoras a laser) a preços cada vez mais baixos, competindo diretamente em nichos de mercado pertencentes às duas outras tecnologias, porém atingindo diretamente as matriciais.

Pode-se dizer que, atualmente, a série de projetos evolutivos das impressoras matriciais está suplantada pelo impacto de projetos baseados em inovação, seja no caso das impressoras a laser como, principalmente, nas baseadas em jato de tinta (para aplicações domésticas e de pequenos usuários, no denominado mercado SOHO - *Small*

*Office and House Office*). Restam às matriciais aplicações bastante específicas, como impressão de notas fiscais.

O mesmo ocorre em relação os *plotters*, equipamentos periféricos de sistemas CAD responsáveis pelo traçado em elementos físicos (papel, acetato etc.) que também enfrentam a concorrência da tecnologia de impressão a jato de tinta, que torna-se economicamente viável nesta área.

## 2. METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTOS.

MUNARI (1975) apresenta uma visão de metodologia aplicada à comunicação visual, mas que possui uma natural similaridade com diversos conceitos do design e das engenharias, embora apresente um enfoque especial às características estéticas e visuais do produto. Segundo o autor, o artista projeta suas obras utilizando-se de regras clássicas e de acordo com as técnicas que lhe são familiares, com o objetivo de criar obras densas e de concepção pessoal.

*“Pero el diseñador, dado que ha de utilizar toda clase de materiales y toda clase de técnicas sin prejuicios artísticos, ha de disponer de un método que le permita realizar su proyecto de forma adecuada, las técnicas precisas y con la forma que corresponda a la función (incluida la función psicológica).” (MUNARI, op.cit.)*

Neste caso, será necessário um projeto que não somente possua “qualidades estéticas” e que seja compreensível para seu público, mas que atenda satisfatoriamente a vários outros requisitos, como meios tecnológicos disponíveis para fabricação, viabilidade econômica e de materiais, por exemplo. O termo “qualidade estética” pode gerar uma interminável fonte de discussões, pois depende de fatores por demais complexos, como aspectos culturais, sociais e econômicos da população usuária, entre (muitos) outros (Não é, entretanto, objetivo deste trabalho discutir este assunto, mas apenas chamar a atenção para sua existência e sua inegável importância).

O autor apresenta uma metodologia baseada nos esquemas de Archer, Fallon e Sidal, e que, seguindo as sugestões de Asimow, possui os seguintes pontos principais:

**Enunciado do problema.** O problema a ser abordado deve estar bem definido, de acordo com a análise das necessidades, seja esta análise realizada pela empresa (pelo departamento de marketing, por exemplo) ou pelo próprio designer, sob

pena de todo o processo de concepção ser alterado por uma definição equivocada da questão a ser atendida.

**Identificação dos aspectos e funções.** O problema deve ser analisado a partir de dois componentes principais: o físico e o psicológico. O componente físico (viabilidade técnica e econômica) se refere à forma do produto, enquanto o psicológico (aspectos culturais, históricos e geográficos) aborda a relação entre o produto e seu usuário.

**Limites para o projeto.** Durabilidade prevista para o produto, utilização de componentes já existentes, limites legais (proibições de determinados produtos ou substâncias, por exemplo), exigências e características do mercado.

**Disponibilidade técnica.** Deve-se ter pleno conhecimento dos processos e materiais a serem utilizados, visando a obtenção do melhor resultado com o menor custo.

**Criatividade.** Elemento central do processo de concepção, pois deve levar a uma síntese das necessidades e dos elementos identificados, sem contudo atuar fora dos limites previamente impostos, levando a uma “solução ótima” para o produto, que atenda as necessidades levantadas e dentro dos limites existentes, apresentando um produto com variável grau de inovação.

**Modelos.** Da síntese criativa nascem os modelos, de tamanho natural ou em escala, em níveis crescentes de detalhamento e sofisticação, até atingirem a forma do produto final, com a construção de um ou mais protótipos.

## 2.1. O Processo Projetual

A partir deste exemplo pode-se ter uma idéia bastante simplificada de como funciona o processo projetual, que apresenta estreitas semelhanças com a maioria dos métodos para solução de problemas: necessidade, levantamento de informações, concepção, geração de alternativa, determinação da solução e detalhamento. As formas de aplicação destas metodologias, entretanto, apresentam diferenças importantes, o que torna cada uma delas apropriada a determinado tipo de problema (ou produto). Pode-se dizer que o nível de sofisticação e detalhamento do processo metodológico adotado obedece às características do produto a ser desenvolvido.

Naturalmente um produto tecnologicamente simples (um vaso cerâmico, por exemplo) não necessitará do rigor metodológico de produtos mais sofisticados (como um avião ou uma planta industrial), mesmo devido ao fato de que na

maioria dos casos, os processos de concepção e tecnologias de fabricação de produtos mais “simples” estão amplamente disseminados, sendo muitas vezes possível seu inteiro domínio (concepção e fabricação) por um pequeno grupo ou mesmo por uma só pessoa, como no caso da produção artesanal. A crescente complexidade tecnológica dos produtos desenvolvidos tem praticamente eliminado a figura do “inventor solitário” que domina todo o processo de concepção e apresenta soluções sem a utilização de uma metodologia definida. Em seu lugar surgem equipes cada vez maiores, especializadas no desenvolvimento de projetos em suas várias especialidades.

Se a criação de equipes ou centros de pesquisa torna-se um recurso inestimável à atividade projetual, traz em se bojo uma série de complicações, basicamente relacionadas à necessidade de um efetivo e adequado gerenciamento de todo o pessoal envolvido e, principalmente, da informação que circula entre os diferentes grupos.

As questões apontadas sugerem, em princípio, a concentração de tarefas em pequenos grupos, formados por elementos de diferentes especialidades ou, por outro lado, a criação de estruturas que permitam a interação de diferentes equipes. A formação de uma pequena equipe de projeto apresenta a inegável vantagem da circulação das informações de forma praticamente imediata. A realização de reuniões periódicas, neste caso, é bastante facilitada, tendo em vista a proximidade física e a na maior parte das vezes estreita relação profissional existente entre os diferentes membros.

Esta solução, entretanto, apresenta seus limites tendo em vista a limitação prática da abrangência tecnológica do produto. Projetos de mobiliário, por exemplo, podem ser desenvolvidos por pequenos grupos de projeto (ou mesmo individualmente), tendo em vista as características específicas da tecnologia utilizada na fabricação do produto. No caso de um automóvel, por outro lado, estão envolvidas no mais das vezes centenas de pessoas, em diferentes empresas e países, com responsabilidades diversas sobre o produto final, desde a concepção da carroceria até o dimensionamento de pequenos parafusos para fixação de componentes.

## 3. NOVAS TECNOLOGIAS E O PRODUTO

A complexidade verificada na maioria dos projetos de design e engenharia atuais, portanto, acaba por impedir na prática que o trabalho seja inteiramente desenvolvido por um único grupo, de forma isolada. Diversas equipes cooperam entre si,

e contribuem para um bom resultado de conjunto final. Durante o desenvolvimento do empreendimento, uma grande quantidade de informação circula entre os participantes. Relatórios técnicos, memoriais de cálculo, memoriais descritivos, especificações, plantas, esquemas, desenhos técnicos de detalhamento e montagem exemplificam o conjunto de documentos que compõem um projeto.

Há um exemplo que ilustra bem o problema do desenvolvimento de projetos envolvendo tecnologias sofisticadas e processos “globalizados” de produção. O avião Boeing 777 possui componentes fabricados em países tão diferentes como Austrália, Brasil, Japão, Itália, Canadá, França, Coreia do Sul, Singapura e Irlanda. Como gerenciar equipes de projeto das diferentes empresas envolvidas, situadas a tão grande distância e de tão diferentes “procedimentos culturais”? Podem-se avaliar as dificuldades advindas da gestão de desenvolvimento de produtos.

O papel do design e da engenharia nestes casos é flagrante. Um processo projetual estruturado e bem conduzido é uma peça-chave para a conquista e manutenção de mercados. O processo de design e o desenvolvimento de novos produtos assume importância crescente em um cenário de alta competitividade a nível mundial como vem ocorrendo desde o início da década de oitenta. Com a globalização da produção, de nada adiantarão produtos obsoletos, cuja vantagem competitiva seja sustentada somente pelo fator preço de compra. O destino destes produtos será cada vez mais os mercados marginais, seja interna ou externamente ao país produtor.

Para a agilização do processo projetual como um todo, no caso de produtos que envolvam grandes equipes e a necessidade de interação e integração entre diferentes setores, ou mesmo entre várias empresas, torna-se crucial um fluxo eficiente de informações (ou de conhecimento). O conhecimento deve estar disponível em tempo hábil e destinada à pessoa certa, para que o processo tenha andamento eficiente. De nada adiantará uma difusão descontrolada de informações, se cada um dos envolvidos não possuir meios de determinar e localizar as formas de conhecimento de seu interesse.

A utilização de novas tecnologias de base microinformática pode auxiliar em muito a difusão e intercâmbio de informações em tempo real, mesmo a grandes distâncias. Neste caso, a empresa que desenvolve o projeto poderá consultar seus fornecedores a respeito das características mecânicas de determinada peça, bem como sugerir alterações pertinentes. As vantagens trazidas, entretanto, somente poderão ser efetivamente

observadas a partir de modificações implantadas no próprio processo projetual, adequando-o às novas ferramentas tecnológicas. Este artigo busca apresentar e discutir algumas destas ferramentas, notadamente aquelas ligadas à comunicação e à integração entre diferentes equipes de projeto, a partir de revisão bibliográfica sobre o assunto.

### 3.1. Estratégias de Informatização de Projeto

Uma estratégia que atenda às diferentes necessidades de forma a trazer uma solução consistente a médio prazo para a empresa (presença no mercado, competitividade a longo prazo e lucratividade) e para o conjunto de indivíduos que a compõe (satisfação no trabalho e qualidade de vida, em termos de saúde, emprego e rendimentos) deve ser o objetivo de um política consistente de informatização. Este não é, entretanto, um objetivo que possa ser facilmente atingido, diante das necessidades peculiares envolvidas em cada função a ser informatizada, a cada indivíduo influenciado e a cada setor a ser integrado.

A experiência vem demonstrando que, ao invés de fruto de um programa estruturado de modernização, o processo de informatização nas empresas normalmente ocorre de forma descontínua e incerta, acabando na maior parte dos casos por tornar-se um imenso “*quebra-cabeças tecnológico*” (CAULLIRAUX e VALLE, 1991). As soluções tecnológicas mais adequadas a serem adotadas por determinado setor nem sempre correspondem às necessidades de outro, ou melhor dizendo, as melhores soluções isoladas nem sempre são compatíveis entre si, o que acaba por truncar todo o processo de modernização, reduzindo os ganhos ou, pior ainda, acarretando altos custos para eventuais “*correções de rumo*” no futuro.

A estratégia adotada por um número cada vez maior de empresas para a manutenção de seus mercados e, em última análise, para a própria sobrevivência tem sido baseada em processos de reestruturação em maior ou menor grau, também em função de um melhor aproveitamento dos recursos da tecnologia da informação. Setores e departamentos inteiros são modificados com vistas à adoção de sistemas informatizados, sem no entanto obterem resultados expressivos.

*“O advento de sistemas de produção mais flexíveis e de novos materiais, conjugados à aceleração no ritmo de mudanças nos produtos e à internacionalização dos mercados, coloca a capacidade de inovar como fator estratégico para sobrevivência das*



empresas.” (RODRIGUES *et al.*, 1994)

Estas modificações, entretanto, não possuem garantias quanto à sua efetiva contribuição para a solução dos antigos problemas, servindo muitas vezes apenas como uma “fachada” para a manutenção da situação já existente. Naturalmente uma reestruturação profunda irá provocar, em qualquer empresa, mudanças relevantes nas relações de poder, seja entre diferentes níveis hierárquicos como dentro de um mesmo nível, entre diferentes grupos ou pessoas. É extremamente ingênuo imaginar-se que, em uma situação de crise todos se unirão e facilmente abrirão mão de privilégios pessoais ou formas de poder em função do “bem comum”, ou do “futuro da empresa”.

Além disso, uma efetiva reestruturação deve envolver e compreender os impactos das novas tecnologias em seus diversos níveis, desde seus efeitos sobre a empresa até suas conseqüências sobre os usuários diretos (e indiretos) destes novos sistemas. Neste caso, pode-se dizer que os efeitos da informática sobre seus usuários, embora sejam evidentemente diferentes caso a caso e assim devam ser tratados, possuem um traço em comum: trazem sempre modificações de impacto sobre antigas formas de competência, seja esta individual, de cada equipe ou setor, ou mesmo da empresa como um todo.

*Este cenário traz à tona o problema da formação profissional, que possui especial importância em países chamados “de industrialização recente”, como o Brasil (FLEURY, 1995, VANDRAMETO, 1994, BARCELLOS, 1994). Aos graves problemas já existentes com relação à educação no país vem unir-se mais um, de vital importância: como formar pessoas aptas a utilizarem-se de meios informatizados em seus processos de trabalho, levando-se em consideração a constante evolução destes sistemas, partindo-se do fato de que é difícil levar princípios de educação básica à grande parte da população? Colocando a questão de uma forma prática, como formar pessoal capacitado para operar sistemas que são trocados a cada dois anos, sem que se perca o conhecimento anterior?*

O grande benefício da informatização para os próximos anos reside em um enorme crescimento na capacidade de comunicação e na conseqüente facilidade para troca de informações entre indivíduos, equipes, setores, departamentos e empresas diferentes (SCHEER, 1993). Neste caso, o diferencial para a conquista de novos (e manutenção dos antigos) mercados estará na capacidade de cada empresa de descobrir e atender o mais breve possível às necessidades de seus clientes. Para isso é fundamental a existência de canais rápidos e seguros de comunicação.

Capacidade de comunicar-se com o mercado (para imediato atendimento aos clientes) e capacidade de comunicação interna à empresa (para o rápido desenvolvimento de novos e adequados produtos) são requisitos básicos ao sucesso de qualquer empreendimento.

Cabe indagar que razões levaram a uma situação na qual são realizados vultosos investimentos em informática, mesmo diante de resultados não muito animadores. Nosso trabalho (ROMEIRO, 1997) avalia processos de implantação de sistemas CAD (*Computer Aided Design*, ou Projeto Assistido por Computador) em empresas no Brasil (além de diversos outros descritos pela literatura, no país e no exterior), demonstrando que na maioria dos casos estes resultados, bem como as razões para o relativo fracasso na utilização do sistema não são objeto de uma discussão séria nas empresas acerca da política de informatização. Pelo contrário, constituem-se até como acirradores de disputas internas em torno das novas tecnologias e seus rumos. Mesmo em países desenvolvidos as experiências de implantação de sistemas CAD e em indústrias de ponta na aplicação desta tecnologia, como as do ramo automobilístico, ao menos até o final dos anos 80, nem sempre apresentavam resultados satisfatórios, conforme demonstra ROBERTSON (1989).

É bastante simples perceber que a partir da implantação de uma nova tecnologia, o destino daqueles por ela influenciados está de certa forma relacionado aos resultados obtidos por esta tecnologia. Desta maneira, mais do que um simples processo de modernização tecnológica, o CAD (ou qualquer outra forma inovação tecnológica e/ou organizacional) é levado a tornar-se um instrumento de ação política interna à empresa. No caso de sucesso do novo sistema, seus patrocinadores terão certamente vantagens em disputas internas e terão aumentadas suas áreas de influência e círculos de poder. Em um cenário como este, ficam claras as razões pelas quais a implantação de novas tecnologias informatizadas tende a trazer consigo problemas relacionados a resistências, não só por parte de seus usuários diretos, mas também por parcelas muitas vezes expressivas do corpo gerencial.

Para que haja um efetivo sucesso na reestruturação da organização visando a adequada utilização da tecnologia da informação, faz-se necessário que ocorram modificações consistentes nos vários níveis da empresa, trazendo alterações relevantes nos processos envolvidos. Processos estes não somente de produção, mas também de design, de projeto, de vendas, administração, etc. Para que estas modificações tragam os resultados esperados, faz-se necessário um detalhado e criterioso planejamento, além de um grande conhecimento

acerca dos processos e tecnologias envolvidos, antes e depois das modificações propostas. Mais do que isso, é importante que esta reestruturação ocorra igualmente nos diversos níveis envolvidos, de forma que se evite a manutenção de antigos problemas, conforme já colocado.

#### 4. ESTADO DA TÉCNICA

A partir do estudo do *Estado da Técnica* sobre o assunto, foi possível perceber que as soluções apresentadas pelas empresas de informática podem atender (ao menos teoricamente) de forma bastante extensa às várias necessidades apresentadas pelas diversas etapas do processo projetual. Não somente em se tratando de ferramentas de apoio direto ao projeto, como sistemas CAD, mas principalmente com o crescente desenvolvimento de soluções para auxílio a atividades complementares, como sistemas de apoio ao trabalho em grupo, ou *workgroup*; sistemas de gerenciamento de documentos (como os sistemas EDI e EDMS), para transmissão de dados *on-line* entre grandes organizações, muitas vezes espalhadas em diversas unidades geograficamente afastadas; software de apoio à decisão; além dos vários sistemas de apoio computadorizado às atividades da empresa, como CAE, CAM, CAPP etc., que levam a perspectiva de um processo integrado de projeto, administração e fabricação através de sistemas informatizados, dentro de conceitos CIM.

Destacando-se entre os citados acima, os sistemas de apoio ao trabalho em grupo (também chamados de *workgroup computing*, ou computação colaborativa) apóiam-se, quase sempre, em um sistema de correio eletrônico. Sobre ele, agregam-se funções como teleconferência, agenda de grupo, gerenciamento de documentos e de formulários eletrônicos, programação de *workflow* e compartilhamento de informações. Suas principais funções podem ser desta forma descritas:

**Correio Eletrônico (Electronic Mail ou e-mail):** É um item básico de qualquer ambiente *workgroup*. Além de mensagens, permite enviar documentos de qualquer tipo. Alguns possuem recursos que possibilitam, por exemplo, redirecionar as mensagens no caso de ausência do destinatário principal e/ou devolver respostas padronizadas.

**Gerenciador de formulários:** Possui ferramentas gráficas que permitem desenhar e desenvolver a aplicação a ele relacionada, podendo alimentar o banco de dados corporativo ou do grupo.

**Teleconferência:** Permite reduzir a necessidade de deslocamento das pessoas para reuniões ou encontros de trabalho. Dois ou mais usuários dialogam através do computador

e podem fazer anotações sobre um documento exibido na tela, como se estivessem diante da mesma folha de papel. Também permite transferir arquivos.

**Workflow:** Ferramenta que permite a execução automática de determinados procedimentos padronizados. Por exemplo, que quando um pedido de mercadorias seja feito, este vá direto para o estoque, via correio eletrônico. Se a mercadoria estiver disponível, a ordem segue para a expedição e para o faturamento. Em caso contrário, um aviso é enviado automaticamente ao vendedor e, se conveniente, à produção.

**Banco de dados compartilhado:** Pode armazenar documentos em um formato próprio, imagens digitalizadas ou arquivos editáveis no padrão dos aplicativos. Nos três casos, ferramentas facilitam a pesquisa das informações.

**Agenda de grupo:** Além de administrar os compromissos pessoais de cada usuário, busca automaticamente horários livres para reuniões entre um grupo de pessoas. Também pode reservar salas e equipamentos para o encontro.

Acerca dos sistemas CAD de forma específica, foram levantadas algumas das principais soluções oferecidas no mercado brasileiro (e internacional), visto que um levantamento detalhado deste mercado constitui-se como tarefa inviável na prática, dado o constante lançamento de novos software e (principalmente) aplicativos de programas já existentes. É também apresentado um rápido panorama do mercado de sistemas CAD a nível mundial.

##### 4.1. Situação do Mercado e Principais Sistemas.

Segundo ZUTSHI (1993), o mercado mundial de sistemas CAD envolvia, em 1991, algo em torno de seis bilhões de dólares em todo o mundo (com a perspectiva de dobrar este valor até o final do século). Destes, um bilhão relativo a sistemas CAD com aplicação para engenharia mecânica. Segundo as perspectivas apresentadas, a divisão do mercado mundial de sistemas CAD para aplicação em engenharia mecânica na virada do século estaria da seguinte forma: Europa (40%), Região do Pacífico (39%), EUA (20%) e resto do mundo (1%).

O autor observa uma tendência à modificação do perfil de mercado de sistemas CAD, com o progressivo crescimento da faixa ocupada por sistemas baseado em PC e

workstations, em detrimento daqueles baseados em computadores de grande porte. Vale lembrar que os sistemas de apoio ao projeto em engenharia mecânica normalmente requerem maior potencial e capacidade do que aqueles destinados a, por exemplo, projetos de arquitetura. Esta tendência foi confirmada por posterior pesquisa de campo, que constatou uma expressiva migração para a utilização de sistemas CAD baseados em PCs nas empresas visitadas.

Com base nos dados apresentados pelo autor pode-se perceber também que, apesar de campeão em número absoluto de unidades vendidas, o software AutoCAD (produzido pela Autodesk Inc.) estava no início dos anos 90 apenas em quinto lugar em faturamento, sendo suplantado pela IBM (1º lugar), Computervision, Hewlett-Packard e Schlumberger. Este quadro, entretanto, está sofrendo alterações importantes, devido à observada migração para sistemas de menor porte (registrada também por pesquisa de campo), que representam custos menos elevados e maior facilidade para manutenção e, muitas vezes, formação de pessoal.

Esta evolução possui um significado fundamental para a aplicação de sistemas CAD pela indústria. A utilização de sistemas de menor porte significa uma cada vez maior popularização dos programas CAD, que agora podem ser utilizados inclusive residencialmente. Uma empresa pesquisada colocou este como um fator decisivo para a migração de um sistema de médio porte para um baseado em PCs. Segundo o entrevistado, é possível atualmente aos funcionários "treinar em casa", desocupando assim o sistema da empresa.

Não é objetivo deste trabalho tecer comentários acerca das questões éticas envolvidas em decisões desse tipo, que acabam por estender o período de trabalho já realizado na empresa por algumas horas teoricamente reservadas ao repouso, em uma forma mais ou menos velada e extensão da jornada. Vale somente chamar a atenção sobre os efeitos danosos desta política sobre a saúde dos usuários, expostos mais e mais à atividade junto a terminais informatizados.

Um outro fator importante, segundo o gerente de projetos de outra empresa pesquisada, está na maior facilidade para que sejam encontrados usuários de sistemas CAD. Com a utilização de sistemas de pequeno porte, a formação é bastante facilitada, não somente pela popularização dos equipamentos, mas também pela maior simplicidade dos programas utilizados que, apesar da crescente sofisticação, ainda não atingem os níveis dos sistemas de "topo do mercado" ("high-end").

Em seu princípio, os sistemas CAD eram, devido a sua inerente complexidade e altos custos

em termos de processamento, acessíveis somente a grandes empresas, como as da indústria automobilística e aeroespacial, usuárias destes sistemas por excelência. Naquela época, os sistemas (em sua grande maioria constituídos de sistemas *turnkey*) eram basicamente ligados a *mainframes*, computadores centrais das empresas, o que na maior parte das vezes levava a complicações de utilização e partilhamento dos recursos informatizados. Nos anos setenta surgem sistemas CAD mais evoluídos, em versões mais ou menos complexas, capazes de gerar aplicações em equipamentos de menor porte, como *workstations* e, a partir do início dos anos oitenta, até mesmo computadores pessoais, do tipo IBM PC.

Desta forma, segundo GREGO (1995), os software CAD e CAM poderiam ser classificados de acordo com a plataforma (sistema *hardware*) que utilizassem. Haveriam os *software* "clássicos" baseados em *mainframes* e resultados da evolução dos primeiros sistemas CAD, desenvolvidos ainda na década de 60, e produtos mais recentes criados para as *workstations* (estações de trabalho), que formavam o grupo *high-end*, ou de produtos de *topo* de mercado. Por outro lado existia o grupo de *software low-end* (na extremidade baixa - ou "popular" - do mercado) desenvolvidos para computadores pessoais. Os sistemas CAE (*Computer Aided Engineering*, ou Engenharia Auxiliada por Computador), no entanto, por suas maiores necessidades em termos de processamento, continuaram por longo tempo restritos aos computadores de maior capacidade.

Esta divisão atualmente é bem mais sutil. Os sistemas *mainframe* caíram em desuso como plataformas para aplicativos de computação gráfica, ao mesmo tempo que as *workstations* tiveram acentuada queda em seus preços e a computação pessoal passou por uma brutal evolução tornando-se muito mais poderosa. Desta forma, tornou-se muito menor a diferença (sendo esta muitas vezes bastante tênue) entre as duas classes de sistemas *hardware*.

*"New features are showing up in mechanical CAD software at an ever increasing clip. The reason is that the power/cost relationship of desktop computers has changed the market dynamics. Workstations and PCs are the platforms of choice. In fact, mainframe-based CAD/CAM systems are expected to disappear in a few years, wiped out by packages for the desktop that are as good or better. There is a trend toward integrating the*

*numerous functions associated with CAD, such as finite element analysis, numerical control and database management, into a single seamless package. This is one reason why CAD/CAM systems are increasingly providing more of a technical information management solution, rather than being a purely technical tool. CAD packages are assuming the role of a complete product definition database, not just serving as a repository of geometry and manufacturing data." (ZUTSHI, 1993)*

Atualmente, em se tratando de aplicações de média complexidade (como as típicas da indústria metal-mecânica, por exemplo), a plataforma considerada ideal por grande parte dos produtores de software (ainda segundo GREGO, op.cit.) está em *workstations* de tecnologia RISC - *Reduced Instruction Set Computer* e sistemas operacionais UNIX, que formam uma combinação considerada segura, confiável de ótimo desempenho.

Por outro lado, ela exige que a empresa possua pessoal técnico capacitado em sistemas UNIX, que em geral apresenta características de complexidade exagerada para o usuário final. Além disso, o UNIX é encontrado em diferentes versões, de acordo com o fabricante, o que obriga a empresa usuária a manter-se fiel ao fornecedor, o que pode limitar em muito a aplicação do sistema CAD (além de criar uma situação semelhante à observada com a implantação dos antigos sistemas *turn-key*).

A outra alternativa é a convivência, no mesmo ambiente, de sistemas de diversas origens (e características), o que dificulta ainda mais a vida do usuário, da equipe de suporte e da própria empresa. Além disso, esta situação acaba por trazer problemas adicionais e bastante sérios aos objetivos de integração entre as várias versões de sistemas, que muitas vezes não possuem interface técnica adequada, o que faz com que projetos desenvolvidos em determinado sistema não seja "lido" por outro, ou que a conversão de dados seja feita de forma "truncada", o que acaba por inviabilizar na prática o trabalho conjunto).

#### 4.2. Sistemas CAD High-End.

O mercado de software CAD divide-se, desta forma, em dois grupos básicos. O primeiro, que concentra os programas mais sofisticados, ou *high-end* ("de topo") do mercado. Muitas vezes estes *software* são versões desenvolvidas a partir dos programas mais antigos, criados originalmente

para utilização em mainframes, por grandes empresas. Neste grupo estão aqueles que prestam-se às aplicações CAD que poderiam ser consideradas clássicas: indústrias automobilísticas, aeroespacial, metal-mecânica com maior grau de sofisticação etc.

Criado pela fábrica de aviões Lockheed nos anos sessenta, o Cadam pode ser considerado como o "modelo" para todos os sistemas CAE/CAD/CAM atuais. Hoje, esse produto e seu irmão mais novo, o Catia, são desenvolvidos pela Dassault francesa e comercializados pela IBM, tendo ambos uma presença expressiva na indústria automobilística. Também neste grupo estão o Matra Euclid, adotado pela fábrica de automóveis francesa Renault; o Delcam Duct, líder na área de ferramentaria; o Cimatron, de origem israelense; o Intergraph EMS e o Parametric Pro/Engineer, entre outros.

Estes *software* possuem normalmente pacotes com dezenas de módulos que atendem a funções mais ou menos específicas de CAD, CAM e, em alguns casos, também CAE. Possuem também módulos bastante específicos para aplicações em indústrias de injeção de plástico, cálculo de resistência de materiais, simulação de funções etc. Embora vendidos em menor número de cópias e a um número bastante restrito de clientes, estes sistemas são, entretanto, responsáveis pela maior parte dos investimentos em CAD, em especial nos países mais desenvolvidos.

#### 4.3. Sistemas Low-End.

O segundo grupo, que poderia ser denominado *low-end* (produtos na faixa mais baixa do mercado) é formado por programas criados originalmente para o ambiente IBM PC, que possuem normalmente recursos menos sofisticados e apresentam um custo mais baixo, como os *software* Microstation (da Bentley), AutoCAD (Autodesk), CadKey, IBM Micro Cadam e o Unicad (*software* destinada à indústria metal-mecânica que talvez seja o único sistema CAD desenvolvido no Brasil). O AutoCAD e o Microstation são *software* genéricos, utilizados em diversas especialidades, como mecânica, eletrônica e arquitetura. O CadKey, Micro Cadam e Unicad, ao contrário, são específicos para aplicações ligadas à área de mecânica. Todos são sistemas CAD capazes de operar em micro-computadores tipo PC, e podem fornecer informações para sistemas CAE ou CAM.

Cada um dos *software* CAD para PC existentes no mercado possui características próprias, que o tornam mais ou menos atraente para cada aplicação específica. O CadKey, por exemplo, possui grandes recursos de tridimensionalidade. Uma modificação realizada no modelo 3D

aparecerá automaticamente nos desenhos bidimensionais. O Unicad possui como principal vantagem a parametrização, enquanto o Micro Cadam é uma evolução de um sistema de grande porte, o Cadam. O AutoCAD é, seguramente, o mais difundido software CAD do mercado, o que significa que há mais profissionais familiarizados com ele e mais extensa bibliografia a seu respeito. O MicroStation, por sua vez, tem como pontos fortes uma boa integração com bancos de dados e recursos nativos de visualização tridimensional, muito úteis na visualização de produtos mais complexos.

## 5. CONSIDERAÇÕES

A partir da avaliação dos dispositivos técnicos de apoio à atividade projetual, seja através da contribuição direta (sistemas CAD e tecnologias CIM, como CAE, CAM, CAPP etc.), como indiretas (sistemas de trabalho em grupo, de gerenciamento de documentos, de integração dos sistemas técnicos da organização etc.), pode-se dizer que, a grosso modo, é tecnologicamente possível a realização da integração nas diversas fases do projeto através de sistemas informatizados.

Entretanto, soluções definitivas e adequadas a amplos grupos de empresas, como aquelas de pequeno e médio portes, ainda não são disponíveis no mercado. Os altos custos e a constante necessidade de extenso e delicado planejamento para implantação e utilização dos sistemas informatizados disponíveis, além da necessidade de aplicativos específicos, acaba por restringir suas aplicações a grandes empresas de tecnologia de ponta e disponibilidade financeira para os investimentos necessários à utilização destes sistemas.

Um dos software mais sofisticados do mercado, o *CATIA/CADAM Solutions V4*, por exemplo, conta (segundo FREITAS, 1997) com aproximadamente uma centena de módulos (número este que cresce a medida de 20 por ano) que podem ser agregados a partir das diferentes necessidades (e capacidade de investimento) da empresa cliente, e que incluem, entre outros, sistemas de modelamento geométrico, parametrização, prototipagem rápida, engenharia “reversa” e ferramentas *workgroup*. Este software “*high-end*” é característico de empresas automobilísticas, e seus altos custos podem explicar a situação de faturamento dos fornecedores de sistemas CAD, onde a IBM (fornecedora do CATIA/CADAM) possui o primeiro lugar, apesar do número evidente baixo de empresas usuárias do sistema.

Desta forma, permanece a questão dos altos custos referentes a aquisição de um sistema que, após dois ou três anos de uso, pode ser

considerado como obsoleto, não por deixar de atender às necessidades da empresa, mas por estar definitivamente suplantado pelas novas tecnologias surgida no mercado. Além disso, não foram considerados aqui investimentos em formação de usuários e reestruturação do processo projetual visando melhor aproveitamento desta tecnologia, que podem significar valores ainda maiores do que o equipamento em si.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACK, Nelson, 1983, Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A.
- BARCELLOS, Paulo César de Araújo, 1994, *"Uma proposta educacional básica para a efetiva capacitação de recursos humanos para a automação flexível"* In: Anais do Segundo Congresso Brasileiro de Automação Industrial. (CD ROM) São Paulo: SOBRACON - Sociedade Brasileira de Comando Numérico, Automação Industrial e Computação Gráfica.
- CAULLIRAUX, H. e VALLE, R. 1991, Estratégias Incrementais de Automação. Rio de Janeiro: LCNPA - Lab. Controle Numérico e Produção Automatizada. COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia de Produção (xerox), 7pp.
- FLEURY, A. e FLEURY, M.T.L. 1995. Aprendizagem e Inovação Organizacional: As Experiências de Japão, Coreia e Brasil. São Paulo: Editora Atlas S.A.
- FREITAS, Rubens Eduardo Braga. 1997. *CATIA/CADAM Solutions V4*. In: CADware Technology Ano 2, n. 4 (mar/mai). São Paulo: Comercial e Editora X5 Ltda
- GREGO, Maurício, 1995. *"Novas Armas Para a Engenharia"*, in Informática Exame, São Paulo: Editora Abril, Ano 10, nº 108 (Mar). Pp. 54 - 60.
- LEITE José Corrêa. *"Milton Santos, Entrevista"*. In: Revista Teoria & Debate, nº 40. São Paulo: fev/mar/abr 1999 <http://www.fpabramo.org.br/td/td40/td40.htm>
- MUNARI, B., 1975, Diseño e Comunicación Visual: Contribución a una metodología didáctica. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A., 3ª edição, 361 p.
- ROBERTSON, David. 1989 CAD Systems in the Design Engineering Process. Cambridge: IMVP International Policy Forum, MIT.

- RODRIGUES, I.P.F., CAMARGOS, S.P., OLIVEIRA, I.M. e GARCIA, P.C.F. 1994. "Condições para Inovação Um estudo em quatro setores industriais", in: SBRAGIA, R., MARCOVITCH, J. e VASCONCELOS, E. Anais do XVIII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. São Paulo: USP/NPGCT/FIA/PACTo. p. 616 - 627.
- ROMEIRO Filho, E. 1997 CAD na Indústria: Implantação e Gerenciamento. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ.
- SCHEER, August-Wilhelm, 1993, CIM: Evoluindo para a Fábrica do Futuro. Rio de Janeiro, Qualitymark Editora.
- VANDRAMETO, Oduvaldo, 1994, "Formação de recursos humanos para automação industrial". In: Anais do Segundo Congresso Brasileiro de Automação Industrial. (CD ROM) São Paulo: SOBRACON - Sociedade Brasileira de Comando Numérico, Automação Industrial e Computação Gráfica.
- ZUTSHI, Aroop, 1993, "What's hot and what's not". In: Machine Design v 65 n 10 (May, 28) 1993. p 76-77

## **Aplicação de Tecnologias CAD/CAE/CAM em Desenvolvimento de Produtos<sup>2</sup>.**

**Alexander Thorsten Nitsche, Mestrando**

Departamento de Engenharia de Produção – DEP, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – B. Hte – Minas Gerais.  
[nitsche@ig.com.br](mailto:nitsche@ig.com.br), [nitsche@dep.ufmg.br](mailto:nitsche@dep.ufmg.br)

**Eduardo Romeiro Filho, Prof. Dr.**

Departamento de Engenharia de Produção – DEP, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG,  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – B. Hte – Minas Gerais.  
Tel. 31 3499 4892 – [romeiro@dep.ufmg.br](mailto:romeiro@dep.ufmg.br)

### **Abstract**

*More and more the competitiveness has turned the products development administration a constant preoccupation for companies of all kinds, which try to guarantee the competitive differentials of their products in all stages of life cycle. It can be observed, however, that this administration process still needs ripeness, mostly in the small size companies. In the products development administration one of the main philosophies is the concurrent engineering, which has as main focus the efficient communication between different departments and even between several companies. This communication has its efficiency maximized when they use CAE/CAD/CAM tools that allow several computational analyses besides the creation of three-dimensional visualizations that facilitates the communication between the professionals of different areas. This work discusses the utilization of the CAD/CAE/CAM tools as facilitators of the process of simultaneous engineering, by the result of a research, developed in an auto parts vendor company.*  
**Key words:** Concurrent engineering, product development, CAD/CAE/CAM.

### **1. Introdução.**

A competitividade pode ser definida (FERRAZ et al, 1995) como a capacidade da empresa formular e implementar estratégias concorrenciais, que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado. Dentro do atual contexto de globalização e aumento da concorrência, quando a demanda encontra-se em processo de saturação em grande parte dos mercados, as empresas buscam cada vez mais garantir diferenciais competitivos em todas as etapas do ciclo de vida de seus produtos. Assim o desenvolvimento de produtos toma papel de destaque neste processo, uma vez que quanto mais planejado e metódico for este desenvolvimento, maiores as chances de se alcançarem os diferenciais competitivos esperados.

Uma apropriada gestão do desenvolvimento do produto torna-se assim indispensável para aquelas empresas que querem manter sua posição ou conquistar novos nichos no mercado. Uma das filosofias mais difundidas para que este objetivo seja alcançado é a Engenharia Simultânea, também denominada Concorrente ou Paralela. Seu uso é hoje amplamente difundido a partir de experiências em grandes empresas do setor automobilístico e aeronáutico, porém os métodos de sua aplicação ainda necessitam de maturação, mesmo nestes setores, mas especialmente nas pequenas e médias empresas. Conforme observado por Maffin et al (2001),

---

<sup>2</sup> Artigo originalmente apresentado no **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Curitiba, ABEPRO outubro de 2002.

diversas técnicas são necessárias para alcançar uma condição de “*best-practice*” na Engenharia Simultânea – ES, porém as empresas ainda não as dominam ou mesmo desconhecem algumas delas.

A ES permite agilizar e “*enxugar*” o desenvolvimento do produto, apesar de sua implantação levar a um aumento no tempo destinado às etapas iniciais deste processo, em especial naquelas relacionadas à elaboração do conceito do produto. Sua aplicação, além de reduzir o tempo total de desenvolvimento, resulta no aumento nos níveis de qualidade do produto obtidos, redução do número de falhas do produto, sua melhor definição e redução no “*lead time*” de fabricação (GAO et al, 2000).

Nos últimos anos a crescente concorrência, aliada à crescente preocupação das autoridades e dos consumidores com questões de caráter ambiental, ergonômico, estético-formal, entre outras levou à necessidade da incorporação de novas características ao produto. Em função disto ampliou em muito o número de ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de produtos. O produto adequado às demandas atuais deve incorporar características que observam pontos relevantes com relação à facilidade de montagem, reciclagem (descarte, reutilização, etc), meio ambiente (poluição na fabricação, no uso e no descarte), interação com o usuário e facilidade de uso (questões ergonômicas), entre outras, o que faz com que se tenha um aumento significativo no tempo da análise do produto pelos projetistas de diversas áreas. A mudança no paradigma no processo de projeto é demonstrada na Figura 1.1.

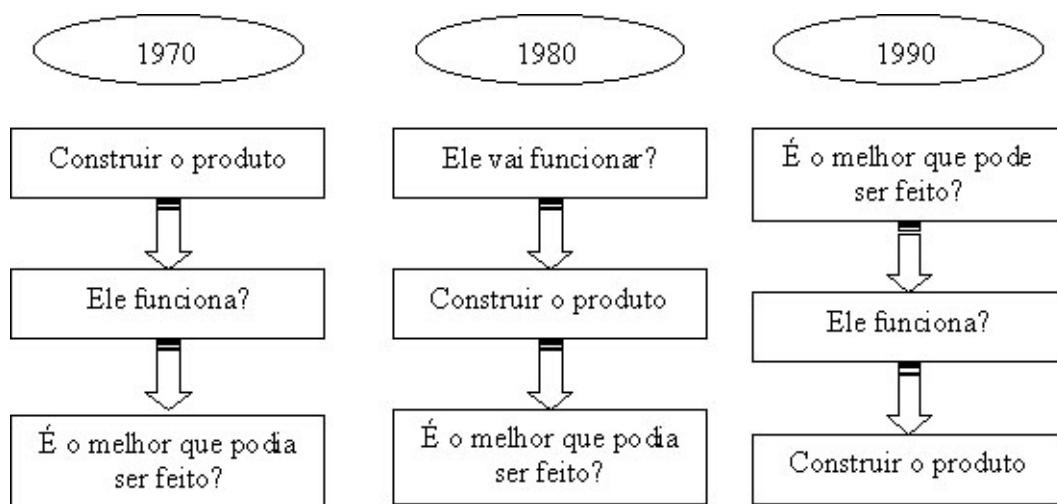


Figura 1.1. Evolução do processo de design de 1970 a 1990.

Fonte: Bossak, 1998.

Para que o processo de ES seja mais eficiente, assim como a utilização de ferramentas como o Design for “X”, FMEA, DFMA, QFD, Engenharia do Valor etc. O grande número de informações relacionadas ao projeto devem ser direcionadas de forma a atender aos interesses de cada um dos envolvidos em tempo hábil e, principalmente, no lugar certo. O adequado gerenciamento deste fluxo de informações torna-se crucial para a ES (ROMEIRO, 1999). O uso da ES implica em se fazer uma combinação de métodos e ferramentas que promovam todos os tipos necessários de fluxos de informações ao longo do ciclo de vida do produto (Schneider et al, 2000). Desta forma é necessário que se utilizem Sistemas de Projeto, Engenharia e Manufatura Auxiliados por Computador (CAD, CAE e CAM respectivamente). Estes garantem, ou mesmo exigem, que se utilize uma padronização no projeto possibilitando assim uma comunicação mais eficiente entre as diversas áreas. Sua utilização é importante também, devido a recursos como a possibilidade de visualização em escala e simulação tridimensional que oferecem. Esta troca eficiente de informações é ainda mais exigida onde há a participação sistemática dos fornecedores no processo de desenvolvimento de produto, prática que tem se disseminado por diversas indústrias nesta década (Amaral et al, 2000).

## 2. Metodologia.



O método proposto para este trabalho, detalhado na Tabela 2.1, foi adaptado de Romeiro (1997) e consiste na investigação dos efeitos da utilização de novas tecnologias em ambientes de projeto, dos principais aspectos relacionados à sua implantação e utilização nos níveis *macro*, *meso* e *micro* e das formas de integração propiciadas pela adoção de sistemas CAD. Serão objetos de análise deste estudo as consequências destes sistemas sobre o usuário (indivíduo), a equipe de projeto, a relação entre as diversas equipes envolvidas e entre o setor de projetos e demais setores da empresa, e mesmo entre empresas diferentes. No caso específico deste artigo, as investigações estarão concentradas nas formas de integração intra empresa, sendo avaliados primordialmente os aspectos “*meso*” desta integração.

## 2.1 Aspectos Macro e Macro Ampliado: Empresa e Mercado.

Neste nível, a pesquisa se concentra em aspectos predominantemente organizacionais da implementação de sistemas informatizados e de seu gerenciamento, bem como da gestão de projetos a partir de sua utilização. Deve ser levantado o papel do sistema em um proposto plano estratégico de informatização da empresa em longo prazo, bem como as relações previstas entre os diversos sistemas informatizados na empresa, bem como a importância atribuída a cada um nesta estratégia. Os dados nesta fase são coletados a partir de acesso a documentos não sigilosos relacionados aos sistemas nas empresas pesquisadas, entrevistas abertas semi-estruturadas junto a elementos do corpo gerencial. Os principais tópicos abordados:

- **O papel do sistema como fator de integração para a empresa**, dentro de uma visão estratégica de informatização de todo o processo produtivo.
- **Reestruturação do processo produtivo**, como forma de modernização da empresa como um todo a partir do desenvolvimento integrado de novos produtos e novos meios de produção.
- **Melhoria da qualidade do produto**, através da intensiva e adequada utilização de recursos informatizados,
- **Visão estratégica da empresa** com relação à integração entre projeto e produção através de aplicações CAE, CAD, CAM, bem como do ponto de vista da administração a respeito dos conceitos ligados às tecnologias CIM (*Computer Integrated Manufacturing*).

O levantamento dos *aspectos macro* ligados ao sistema tem por objetivo a elaboração e compreensão do *pano de fundo* onde ocorrerão as principais modificações nas formas e nas relações de trabalho a partir da utilização de diferentes sistemas informatizados. São também avaliados os efeitos das condições sócio-econômicas do país sobre a empresa e as influências geradas por programas de reestruturação organizacional nas empresas, como processos de reestruturação empresarial.

Níveis de Abordagem	Visão Predominantemente Técnica	Visão Centrada no Usuário
<b>Macro</b> <i>Empresa e Mercado</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de comunicação;</li> <li>- Interface entre sistemas;</li> <li>- Otimização do empreendimento;</li> <li>- Políticas estratégicas em informática;</li> <li>- Compatibilidade;</li> <li>- Telecomunicações;</li> <li>- Segurança de sistemas, etc.</li> <li>- Integração entre empresas, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planejamento estratégico da empresa;</li> <li>- Cultura técnica da organização;</li> <li>- Novos paradigmas gerenciais;</li> <li>- Efeitos sociais da informatização</li> <li>- Integração entre empresas (vistas como grupos humanos), etc.</li> </ul>
<b>Meso</b> <i>Equipes e Setores de Trabalho</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redes locais;</li> <li>- Software;</li> <li>- <i>Downsizing</i>;</li> <li>- Interface entre Software;</li> <li>- Compatibilidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Competências;</li> <li>- Novos atores dos processos;</li> <li>- Relações de poder;</li> <li>- Integração entre equipes;</li> <li>- Aspectos culturais dos grupos envolvidos etc.</li> </ul>
<b>Micro</b> <i>Indivíduo</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Hard/software</i> locais;</li> <li>- Funcionamento técnico;</li> <li>- Viabilização de aplicativos;</li> <li>- Manutenção do sistema etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspectos ergonômicos clássicos;</li> <li>- Organização do trabalho;</li> <li>- Postura, mobiliário;</li> <li>- Condições de trabalho;</li> <li>- Ansiedade, tensão emocional;</li> <li>- Integração individual etc.</li> </ul>

Tabela 2.1 - Aspectos Levantados pela Pesquisa, Segundo Diferentes Níveis de Abordagem.

## 2.2 Aspectos *Meso*: Equipes de Trabalho.

Nesta fase serão analisados:

- **Formas de comunicação entre usuários e/ou equipes**, para avaliação dos níveis de eficiência no intercâmbio e fluxo de informações através da empresa. Podem ser entrevistados diferentes atores envolvidos neste fluxo, bem como levantados os procedimentos utilizados para comunicação. Serão apreciados desta forma os efeitos dos sistemas informatizados nos processos de comunicação intra e entre equipes de projeto, através de entrevistas pessoais.
- **Efeitos dos Sistemas Informatizados sobre o ciclo de vida do produto**, bem como na metodologia de desenvolvimento projetual e processos de fabricação. Através de entrevistas e análise de documentação das empresas, será avaliada a influência dos sistemas sobre os procedimentos de desenvolvimento de produto e produção, bem como na interação entre os diversos atores envolvidos.
- **Organização e fluxograma de trabalho**, para compreensão e visualização dos efeitos dos sistemas sobre a empresa de uma forma bastante ampla, como elemento de ligação entre equipes e integração das diversas etapas do ciclo de produção. Também é discutido o nível de adequação da estrutura existente à nova realidade trazida pelas aplicações informatizadas.

## 2.3 Aspectos *Micro*: Indivíduo e Estação de Trabalho.

Neste nível a análise da tarefa e dos processos de trabalho em sistemas informatizados em seus *aspectos micro*, estarão desta forma centrados na estação de trabalho, abordando os seguintes tópicos:

- **Interface usuário x sistema**, dentro dos conceitos adotados pela ergonomia. Esta análise é realizada a fim de levantar de que forma pode ser agilizado o processo de trabalho, bem como para avaliação das deficiências desta interface, e dos programas de formação adotados para os diversos usuários de sistemas informatizados.
- **“Usabilidade” do software**, através da observação das interfaces dos diferentes programas em uso nas empresas pesquisadas.
- **Avaliação do posto de trabalho**, com especial atenção para aspectos antropométricos do mobiliário, bem como para fatores ambientais que interferem na execução da tarefa, como iluminação e temperatura.
- **Organização do trabalho**, em especial do trabalho em equipe e dos procedimentos adotados para inserção do sistema no grupo de desenvolvimento de projetos, notadamente em casos onde coexistam sistemas distintos.
- **Formas de comunicação**. Levantamento dos procedimentos adotados para comunicação intra e entre equipes de projetos, bem como entre o setor de projeto e demais setores da empresa. Neste caso (*nível micro*), são avaliados os recursos de comunicação entre usuários diretos de sistemas e entre estes e demais usuários (indiretos). É avaliada a relação entre as formas de comunicação prescritas e a comunicação real, e de que formas a organização do trabalho interfere nos processos de comunicação.

## 3. A Pesquisa:

A pesquisa piloto, realizada em duas etapas, foi feita em uma empresa fornecedora de componentes para a indústria automobilística, dentro da linha de produtos da empresa estão itens como: portas, capô, teto, entre outros. Na primeira etapa foi realizada uma visita técnica às instalações da empresa, onde foram apresentados os departamentos de projeto e o de construção de ferramentas. Áreas estas intimamente ligadas através do uso de ferramentas de CAE/CAD. E a segunda através de entrevistas realizadas “*in loco*” na empresa. E na segunda foram realizadas entrevistas com um Analista de Suporte Pleno (Plataforma de PDM), um Gestor de Desenvolvimento de Produto (Plataforma tanque) e um Projetista (Pré-CAM)

O departamento de projetos possui atualmente 30 estações gráficas rodando os seguintes softwares de CAD/CAE, Autoform, CADD5, Catia V4, Catia V5, Unigraphics, I-deas, Pro-engineer e Patram. Praticamente todos os programas utilizados em montadoras de automóveis, evitando assim problemas de conversão. Este departamento é dividido em plataformas de trabalho, onde cada uma é responsável por uma área de projeto específica: tanque, suspensão, carroceria, conjuntos montado, conjunto estampado e acessórios e uma plataforma suporte que é responsável pela manutenção tanto de *hardware* e *software*, como pelo gerenciamento dos dados do setor, PDM – *product data management*. Os sistemas de PDM são ferramentas responsáveis pelo gerenciamento de toda a informação relacionada com produtos da empresa, arquivos digitais, registros de banco de dados, além de gerenciar o ciclo de vida do produto (Schutzer et al, 1999).

O trabalho realizado pelas plataformas de projeto consiste basicamente em quatro etapas:

1. O processo de *design* de novos produtos,
2. O processo de *co-design*, que consiste no recebimento de um projeto direto da montadora e a partir daí a empresa sugere e implementa modificações em função da sua experiência,

3. Na geração do plano de métodos que tem por objetivo definir as operações necessárias para se chegar ao produto final. Ex. cortar blank, formar, furar, repuxar, calibrar, etc,
4. Na verificação dos projetos de ferramentais que a empresa recebe, uma vez que estes são em sua maioria terceirizados. Em alguns casos o projeto e detalhamento das ferramentas são realizados por este setor.

A plataforma de gerenciamento de dados realiza o controle dos dados trabalhados através do servidor que é dividido em três áreas:

1. A de trabalho, onde as estações realizam os projetos remotamente,
2. A de transferência onde os arquivos são disponibilizados para compartilhamento,
3. A área de *back-up* destinada a projetos finalizados.

Os arquivos na área de trabalho estão disponíveis somente para a plataforma específica daquele projeto, enquanto os arquivos na área de transferência podem ser acessados por todos, porém não são passíveis de alteração e a área de *back-up* cujos dados só são acessados pela equipe da plataforma de PDM. O sistema descrito esta representado na Figura 3.1.

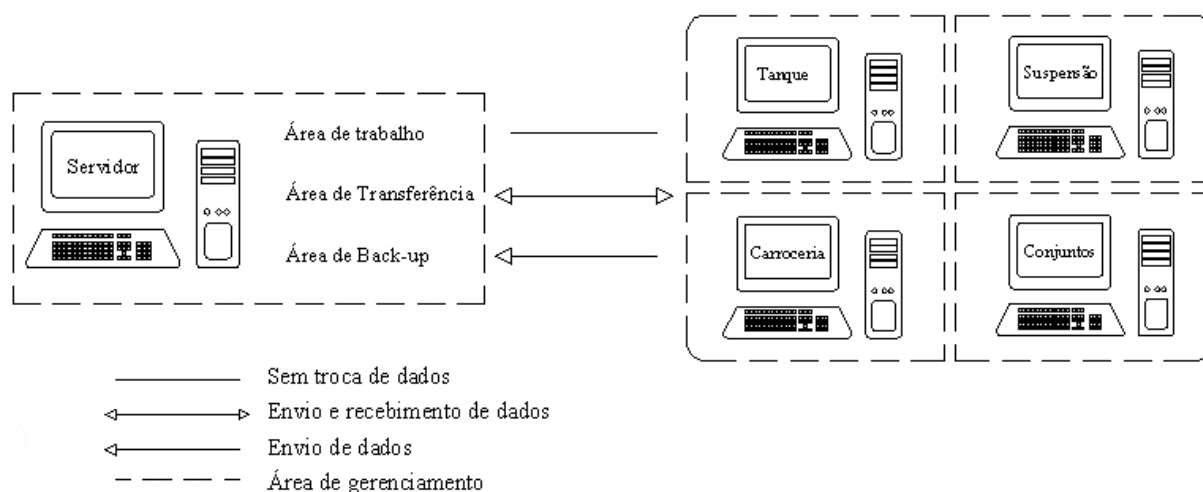


Figura 3.1 Esquema do gerenciamento de dados pela plataforma de PDM.

O departamento de CAM é dividido em dois outros departamentos, o de Pré-CAM e o de CAM. O total de estações de trabalho de ambos é de doze, sendo oito de CAD e quatro de CAM. Estas são independentes entre si devido ao maior rendimento apresentado nesta configuração. O *back-up* nestes departamentos é interno a cada um deles e são disponibilizados na rede através de acesso restrito para edição.

A função do departamento de Pré-CAM consiste na análise da peça e da inserção desta na ferramenta. Primeiramente a peça é enviada pela montadora em um desenho tridimensional na posição do veículo. A peça é então balanceada na ferramenta, ou seja, o eixo de referência XYZ na posição do carro é rotacionado para o eixo XYZ na posição da ferramenta. É feita então a análise do plano de métodos e gerado o perfil da ferramenta. Através do desenho recebido tem-se toda a informação a cerca do produto, como normas técnicas, tolerâncias, entre outras.

O departamento de CAM utiliza o software CAMPEADOR. Através deste são realizadas as seguintes tarefas, carregar o modelo tridimensional recebido do Pré-CAM, renderizar e verificar o modelo, fazer a programação do processo de trabalho e a simulação da mesma para evitar possíveis falhas, enviar o programa gerado via rede para as máquinas que vão realizar o serviço e preparar a documentação necessária para o processo de usinagem. Junto com o programa recebido em rede, o operador do equipamento, recebe um cronograma onde consta a documentação gerada com as descrições gerais do processo. Este programa apresenta o número de cada operação (OF's) que direciona e prioriza a manufatura.

#### 4. Discussões e conclusão.

Pode-se perceber num primeiro momento que o processo de desenvolvimento de produtos na empresa encontra-se muito bem estruturado. Através da utilização de ferramentas de CAD/CAE/CAM todo o processo de

fabricação é integrado, desde a geração do produto até a fabricação do ferramental. Todas estas etapas têm seu desenvolvimento em rede. Este sistema, no departamento de projeto, é gerenciado pela plataforma de PDM. Onde o servidor é dividido em três áreas para facilitar o processo de transferência de arquivos e possibilitar, através de acesso restrito, o andamento do processo sem o risco de alterações inadequadas.

É interessante observar que praticamente não são utilizados desenhos em duas dimensões, com exceção da área de fabricação dos ferramentais onde estes são mais utilizados. Para evitar a necessidade de conversão, um dos problemas mais comumente encontrados no relacionamento cliente-fornecedor, a empresa optou por usar todos os softwares que as montadoras usam como padrão, ex. GM – Unigraphics, FIAT – CATIA, FORD – Ideas, etc.

O sistema dividido por plataformas utilizado pelo setor de desenvolvimento de produtos foi implementado a cerca de dois anos por exigência da diretoria. Diferente do sistema antigo onde um único setor de CAD concentrava o *design* e a manutenção, gerando conflitos devido à ordem de desenvolvimento e priorização, a descentralização trouxe uma maior autonomia aos projetistas que podem gerenciar seu próprio trabalho em sua plataforma. Como desvantagem, essa nova configuração, não tem como realizar projetos de todas as montadoras, uma vez que as plataformas não usam todos os softwares disponíveis. Esta dificuldade causa o cruzamento de serviços entre as plataformas durante o desenvolvimento dos projetos.

A filosofia da ES está presente em todas as etapas do desenvolvimento do produto. Desde o processo de *design* e de *co-design* até o projeto dos ferramentais. Na fabricação do ferramental, em um exemplo citado, a empresa desenvolveu a ferramenta simultaneamente ao desenvolvimento do produto pela montadora, chegando a receber em um mesmo dia até três modificações no projeto do produto. Pode-se observar que esta simultaneidade, só pôde ser realizada devido à utilização de ferramentas de CAD/CAE, onde é possível visualizar de forma rápida a modificação proposta, testar esta modificação e se for necessário propor uma nova. Em função disto o ciclo de vida dos produtos se torna muito mais ágil do que os observados nas décadas de 80 e até mesmo na de 90. Em um caso citado um veículo que foi reestilizado a cerca de dois anos estará novamente passando por este processo em um período de tempo considerado curto para o desenvolvimento de um produto complexo como um automóvel.

A filosofia da engenharia simultânea, associado ao uso de ferramentas de CAD/CAE/CAM torna possível o desenvolvimento de produtos simultaneamente entre clientes e fornecedores de uma maneira muito eficiente. Possibilitando a integração de todos os sistemas produtivos das empresas, permite que produtos anteriormente desenvolvidos de 5 a 8 anos em média, tenham o seu ciclo de desenvolvimento reduzido a cerca de 2 anos.

## 5. Agradecimentos.

A empresa Aethra Componentes Automotivos pela colaboração e apoio a pesquisa e pelo envolvimento de seus profissionais na realização deste artigo.

## 6. Bibliografia.

- AMARAL, D.C., TOLEDO, J.C.. Colaboração Cliente-Fornecedor e Qualidade no Processo de Desenvolvimento de Produto. In: ENEGEP 98 – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18. Niterói – RJ. Anais 1998.
- BOSSAK, M. A., Simulation Based Design. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 76, p. 8-11. 1998.
- FERRAZ, J. C., KUPFER, D., HAGUENAUER, L., Made in Brazil: desafios competitivos para o Brasil, Rio de Janeiro, Campus, 1995 (Capítulo 1).
- GAO, J.X., MANSON, B.M., KYRATISIS, P.. Implementation of Concurrent Engineering in the suppliers to the automotive industry. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 107, p. 201-208. 2000
- MAFFIN, D., BRAIDEN, P., Manufacturing and Supplier Roles in Product Development. International Journal of Production Economics. Vol. 69, p. 205-213. 2001
- ROMEIRO, E. F. A Integração da Empresa Através da Utilização de Sistemas Informatizados de Apoio ao Projeto. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, Engenharia de Produção, 302pp. 1997

ROMEIRO, E. F., A Contribuição do CAD para Implantação da Engenharia Simultânea. I Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Belo Horizonte, Minas Gerais, Agosto de 1999.

SCHNEIDER, H. M., PLONSKI, G.A, Um Modelo para o Avaliação do Métodos e Ferramentas da Engenharia Simultânea. In: Segundo Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto. São Carlos – SP, Agosto de 2000.

SCHUTZER, K., SOUZA N. L., Implantação do “*Digital Mock-up*” na indústria automobilística: conquistando vantagens competitivas. In: Primeiro Congresso de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Belo Horizonte – MG, Agosto de 1999.

## A Contribuição do CAD para Implantação da Engenharia Simultânea.

**Eduardo Romeiro Filho**

Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Produção

Rua Mantena, 334/304 - Bairro Ouro Preto - 30310.430 - Belo Horizonte - MG

[romeiro@dep.ufmg.br](mailto:romeiro@dep.ufmg.br)

Artigo originalmente apresentado no **I Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**.  
Belo Horizonte, MG: DEP/UFMG, Agosto de 1999.

A Engenharia Simultânea (também denominada concorrente ou paralela) pode ser considerada, segundo COSTA (1994), como:

*"Uma metodologia para desenvolvimento de projetos que propõe a realização de muitos processos pertencentes ao ciclo de vida do produto de forma simultânea (paralela), usando um time de projeto multidisciplinar e dinâmico e ferramentas automatizadas para a realização dos processos componentes."*

Por "time de projeto multidisciplinar e dinâmico" deve-se entender: um determinado conjunto de pessoas com conhecimentos em várias áreas concernentes ao projeto em desenvolvimento, que é alocado para vários projetos ao mesmo tempo, independentemente da estrutura organizacional da empresa.

*"Engenharia concorrente é um método sistematizado para o projeto concorrente e integrado de produtos com seus processos, incluindo produção e suporte. Esta abordagem procura considerar, em princípio, todos os elementos do ciclo de vida de um produto, da concepção até a distribuição<sup>3</sup>" (REIMANN e HUQ, 1992)*

A Engenharia Simultânea consiste basicamente de um modelo de gerenciamento de

projetos, muito mais do que um conjunto de inovações tecnológicas. Este caso requer uma forma de organização que ao mesmo tempo que permita a liberdade para a difusão da informação e tomada de iniciativa por parte das várias equipes envolvidas no projeto, exija um rigor mais apurado e um maior controle em seu desenvolvimento, sob pena de que surjam conflitos de competências e obrigação entre os diversos atores.

Computer Aided Design (CAD), expressão da língua inglesa que pode ser traduzida como "Projeto Assistido por Computador", é, se considerado de forma bastante ampla, uma tecnologia multidisciplinar, um conjunto de ferramentas utilizadas por todas as áreas em que existe uma forma desenvolvida de interação do computador digital à atividade de projeto, bem como ao controle e gestão deste processo (<sup>4</sup>).

Assim como na implantação de sistemas CAD, a utilização de uma base de dados comum permite que sejam acessadas informações de projeto que antes só estariam disponíveis após a finalização do trabalho por determinada equipe. Esta disponibilidade, no entanto, não deve ser entendida como uma difusão de informação realizada de maneira indiscriminada. As equipes devem ter acesso privilegiado a informações pertinentes ao desenvolvimento de suas tarefas

---

<sup>3</sup> Uma pequena discordância em relação ao ponto de vista do autor: o ciclo de vida do produto não pode ser considerado como limitado à sua distribuição, mas levar em consideração aspectos ligados às formas de uso, desuso e, cada vez mais, possibilidades de reciclagem.

---

<sup>4</sup> Há autores que consideram os sistemas CAD como uma forma de auxílio às etapas do projeto ligadas à aspectos gráficos. Este conceito parece mais apropriado aos tipos de sistemas de auxílio ao desenho, denominados Computer Automatic Drafting ("Desenho Automático por Computador"), também CAD. Neste Trabalho, porém, é utilizado um conceito mais amplo de CAD, ligado à atividade de projeto como um todo.

específicas, inclusive com diferenciação de níveis de acesso e permissão para realização de alterações.

Desta forma, deve estar bem claro o papel de cada um no processo projetual, bem como devem ser definidas estratégias para que todos sejam informados de quaisquer alterações de projeto que lhes possam ser pertinentes. A difusão irrestrita pode levar a uma situação de "congestionamento" no fluxo de informações pela empresa, o que acarretará maiores dificuldades para seleção das informações pertinentes recebidas por qualquer dos envolvidos<sup>5</sup>.

O grande número de informações relacionadas ao projeto devem ser direcionadas de forma a atender aos interesses de cada um dos envolvidos. Não basta disponibilizar a informação, mas também fazer com que isso ocorra em tempo hábil e, principalmente, no lugar certo. O adequado gerenciamento deste fluxo de informação torna-se crucial para o sucesso da Engenharia Simultânea.

A sobrecarga de informações a cada um dos envolvidos tornará muitas vezes difícil e demorada a seleção daquela necessária ao desenvolvimento do projeto. Por outro lado, a ausência de dados relevantes levará à perda de tempo em sua busca e, quanto maior a complexidade de cada projeto, potencialmente maior o tempo demandado para que seja encontrada a informação desejada.

É fundamental, portanto, que o intercâmbio entre as diferentes equipes envolvidas ocorra de forma eficiente, sem que haja perda de tempo, seja na espera por informações como na repetição do trabalho devido a informações fornecidas incorretamente acerca de, por exemplo, alterações pertinentes ao projeto.

Com todas as alterações propostas pela Engenharia Simultânea, o ciclo projetual acaba por

tornar-se mais ágil, capaz de absorver mais rapidamente as modificações impostas no decorrer do processo de desenvolvimento de produtos e tornando este processo mais adequado às características do mercado, isto é, tornando a empresa capaz de responder mais rapidamente às necessidades colocadas por seus clientes.

Além disso, a melhoria na interface entre os diferentes atores envolvidos no processo projetual trará benefícios importantes como a redução dos custos de projeto, devido à menor necessidade de repetição de tarefas e à diminuição de prejuízos relacionados à perda de informações durante o ciclo de vida do produto.

## 1. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E A ENGENHARIA SIMULTÂNEA.

A maior parte das empresas levantadas, desde ROMEIRO (1993), podem ser caracterizadas como "iniciantes" e despreparadas para um processo efetivo de informatização na área de projetos. Esta situação pode ser atribuída ao desconhecimento generalizado acerca das reais contribuições da informática ao projeto, bem como a questões ligadas aos processos de informatização correntes e, pode-se dizer, consolidados em outros setores.

As primeiras áreas a serem informatizadas, ainda nos anos sessenta e através de grandes sistemas *mainframe*, foram aquelas que eram caracterizadas por um grande número de cálculos repetitivos, como departamentos de pessoal e contabilidade. Nestes casos, era relativamente simples transferir para a máquina atividades e procedimentos centrados em fórmulas que repetiam-se indefinidamente. Desta forma, criou-se um paradigma de informatização que gerou alguns princípios adotados até hoje, como a centralização de recursos e a atribuição de competências aos analistas de sistemas e pessoal de suporte nesta área.

Ora, a informatização da atividade projetual é muito mais do que a automação de procedimentos. Na verdade, apresenta oportunidades inéditas, como a possibilidade de trabalho conjunto entre grandes grupos e o intercâmbio de informações em tempo real<sup>6</sup>, em "workgroups" (ou grupos de trabalho). Nestes casos, não se trata de tornar mais rápido o processo

<sup>5</sup> Uma analogia interessante é a de uma mesa de trabalho repleta de memorandos e circulares, na qual o projetista tem que selecionar quais as informações pertinentes ao desenvolvimento de seu trabalho. Embora não se tenha levantado de forma quantitativa, foi colocado de maneira bastante contundente pela maioria dos entrevistados a dificuldade representada pela manipulação de inúmeros arquivos, mensagens de correio eletrônico e informações que muitas vezes eram irrelevantes ao trabalho desenvolvido. Além disso, esta situação pode ser facilmente observada, não somente nas empresas pesquisadas, mas também em inúmeros exemplos de utilização da informática em outras situações de trabalho.

<sup>6</sup> "Real Time", ou o processamento imediato dos dados inseridos, permitindo que as informações estejam imediatamente disponíveis em outros terminais de um mesmo sistema.

existente (como na automação industrial rígida), mas possibilitar sua flexibilização e agilização para uma atividade de projeção mais rápida e eficiente.

A atividade projetual caracteriza-se pela necessidade de rápidos e eficientes processos de geração e difusão de conhecimento. A informatização nestes casos deve ter por objetivo principal o suporte à criatividade e ao intercâmbio de informações entre diferentes projetistas envolvido no projeto. Ao mesmo tempo que a difusão da informação é fundamental, problemas ligados a questões de segredo industrial e segurança são críticas<sup>7</sup>.

Neste caso, as formas de abordagem para o problema devem ser pertinentes às suas características próprias, o que não é, de forma alguma, uma questão trivial. A informatização em projetos traz para o setor uma série de inovações ligadas à própria forma de estruturação do processo projetual, ou seja, para que a informática traga reais benefícios, é fundamental que todo o processo de projeto seja revisto em função das novas perspectivas apresentadas pela adoção de uma nova tecnologia.

A respeito desta revisão, deve-se dizer que alguns dos objetivos propostos pela *reengenharia* (segundo HAMMER e CHAMPY, 1994) são bastante pertinentes, apesar das muitas críticas apresentadas a esta proposta (dentre as quais SEMLER, 1995, SCHWARTZ, 1995, e COSTA, 1995). Mais uma vez, não é o objetivo deste trabalho tecer comentários neste sentido, mas citar um exemplo colocado pelos primeiros autores, observado na Eastman Kodak Company. Neste caso, o desenvolvimento de uma nova câmara fotográfica descartável, que fizesse frente a modelo semelhante lançado pela rival Fuji em 1987.

<sup>7</sup> Um dos entrevistados relatou o caso de uma empresa alemã (na qual trabalhou no início dos anos 90) que concentrava suas atividades de projeto em equipes de prancheta, somente utilizando-se de sistemas CAD após a definição do produto e partida para a produção. Principal motivo: busca de maior segurança pela dificuldade de reprodução de desenhos em meios físicos (é naturalmente muito mais fácil copiar detalhes de projeto através de disquetes). Em uma empresa pesquisada, dotada de um sistema de rede local, nenhuma das estações gráficas possuía "drivers" para disquetes. Todas as cópias em sistemas magnético ou meio físico são geradas somente através do servidor, pelo responsável pelo suporte técnico.

Segundo HAMMER e CHAMPY, o processo de desenvolvimento de produtos pela Kodak era "*parcialmente sequencial e parcialmente paralelo, mas inteiramente lento*". Esta lentidão atribuída ao processo paralelo era causada por problemas de ajuste entre sistemas desenvolvidos simultaneamente, mas em separado e por equipes distintas. Foi adotada a seguinte solução:

*"A Kodak reformulou seu processo de desenvolvimento de produtos pelo uso inovador da tecnologia CAD/CAM (...). O simples trabalho na tela, em vez do papel, já tornaria os projetistas individualmente mais produtivos, mas tal uso da tecnologia exerceria um efeito apenas marginal sobre o processo total.*

*A tecnologia que permitiu a reengenharia de seu processo é um banco de dados integrado de projeto de produtos. Diariamente, esse banco de dados coleta o trabalho de cada engenheiro e combina todos os esforços individuais em um todo coerente. A cada manhã, os grupos de projeto e projetistas individuais verificam no banco de dados se o trabalho do dia anterior de algum colega criou algum problema para eles ou para o projeto global. Em caso positivo, eles resolvem o problema imediatamente, e não após semanas ou meses de trabalho desperdiçado. (...)*

*O novo processo da Kodak, denominado de Engenharia Coordenada, tem sido amplamente usado nas indústria automobilística e aeroespacial e começa a atrair adeptos na indústria de bens de consumo."*

Em princípio, várias das observações dos autores mostram-se pertinentes, em especial com relação à vantagem muitas vezes marginal trazida pela maioria dos sistemas CAD levantados e ao real benefício destes sistemas, na elaboração de um banco de dados único, que possa ser acessado em tempo real e através do qual possam ser resolvidos o mais breve possível quaisquer formas de incompatibilidade nos diversos aspectos do projeto desenvolvido.



Por outro lado, o que os autores chamam de "engenharia coordenada" pode ser considerada, na verdade, uma forma de Engenharia Simultânea bem desenvolvida e em funcionamento<sup>8</sup>. Ora, se no processo de "desenvolvimento paralelo" de partes produtos surgiam muitas vezes problemas de incompatibilidade no final do processo, estes eram devido ao isolamento existente entre as equipes, ou seja, à falta de comunicação.

Este problema não ocorre em função da ausência de sistemas CAD, mas da inexistência de canais eficazes para troca de informações. O CAD efetivamente contribui para tornar esta troca eficiente, mas de nada adianta a tecnologia avançada se não existe um método de trabalho que incentive (ou mesmo obrigue) o intercâmbio de informações.

Além disso, a combinação de *"todos os esforços individuais em um todo coerente"* não é, de forma alguma, uma atividade trivial. O gerenciamento do banco de dados resultante é tarefa de alta complexidade, bem como o desenvolvimento do software necessário à elaboração de uma estrutura de organização de dados, de formas e normas de acesso, além de maneiras eficientes e rápidas de verificação e comparação das diferentes contribuições de cada projetista ou equipe de trabalho<sup>9</sup>. Na verdade, no mais das vezes torna-se necessária a elaboração de diferentes bancos de dados, que agreguem progressivamente as informações de cada disciplina, antes de cruzar tais informações com o banco de dados central.

*"Current manufacturing system design methodologies produce multiple models of the eventual manufacturing system. The models reflect either the designers view of some subsystem, like materials*

*handling, some level of abstraction, or some developmental stage in the design of the system. These models serve to break the complex system design into smaller, more manageable sized problems."*  
(PARKS et al, 1994)

Esta forma de organização, mais do que um problema gerencial, acaba por tornar-se uma questão de implicações tecnológicas. É portanto sintomático o expressivo número de estudos relacionados ao desenvolvimento de softwares específicos para apoio à implantação da Engenharia Simultânea através da aplicação de sistemas informatizados (notadamente sistemas CAD), como MILLS (1995), WALLACE (1994) e BOURKE (1993), entre outros, além de todos os esforços relacionados ao desenvolvimento de sistemas de gerenciamento eletrônico de documentos, extremamente úteis em situações de projeto que envolvem grandes equipes e extrema necessidade de gerenciamento de informações.

Apesar de exemplos como este, a engenharia simultânea deve ser vista muito mais uma metodologia gerencial e de projeto do que um conjunto de ferramentas tecnológicas. Pode-se afirmar, de qualquer forma, que este método é mais adequado às novas ferramentas informatizadas do que os métodos tradicionais (seqüenciais) de desenvolvimento de projetos, embora sua aplicação não esteja de forma alguma condicionada à utilização da informática.

É importante notar, inclusive, que a adoção de sistemas informatizados de apoio à atividade de projeto e à transferência de informações entre os vários setores da fábrica deve ser precedida por um estudo consistente acerca do método de projeto utilizado. Antes da implantação do CAD, faz-se necessária uma revisão e organização do processo adotado. Essa postura, de que é necessário conhecer profundamente o processo para que se possa aprimorá-lo (e, mais do que conhecê-lo, efetivamente controlá-lo) é um princípio dos métodos de melhoria da qualidade que é muito freqüentemente citado como fundamental para obtenção de sucesso em processos de implantação de sistemas informatizados.

## 2. USO DE TECNOLOGIA MULTIDISCIPLINAR.

Desta forma, vários estudos (como por exemplo SHA, 1993, RUECKER, 1992, OKAWA et al., 1994) estão voltados para o desenvolvimento de software específicos para a implantação de sistemas de engenharia simultânea. Estes

<sup>8</sup> MILLS (1995) chama a atenção para a crescente adoção dos princípios da Engenharia Simultânea na indústria aeroespacial americana, basicamente associados a inovações nas áreas de CAE/CAD/CAM. THOMAS (1994) aborda a implantação da Engenharia Simultânea na Ford Motors Company, que envolveu fortemente a utilização de sistemas CAD.

<sup>9</sup> Este problema tem sido objeto de estudos voltados para o desenvolvimento de sistemas informatizados de apoio ao trabalho entre equipes, especificamente para a Engenharia Simultânea, como em OKADA e ARAI, (1993).

programas tem por objetivo fornecer suporte à difusão de dados e interface entre equipes envolvidas no processo de desenvolvimento de projetos, atuando no gerenciamento das informações pertinentes, para que estas circulem de forma eficiente pelas equipes envolvidas. Além disso, devem ser capazes de suportar as diversas mídias (desenhos, textos, planilhas, bancos de dados etc.) necessárias à adequada manipulação e arquivo de cada informação gerada. Do ponto de vista técnico, este parece ser o maior entrave à Engenharia Simultânea.

Este aspecto, entretanto, parece caminhar para algumas soluções interessantes, conforme os artigos citados. A crescente "intercambiabilidade" entre diferentes softwares parece também indicar soluções.

A versão Release 13 do AutoCAD, mais difundido software "low-end" do mercado, permite transformar um arquivo de desenho em um sistema *hipertexto*<sup>10</sup>, com ligações diretas a outros arquivos, disponíveis em outros meios que sejam incorporados ao desenho dados relativos a outros meios, como textos, gráficos, bancos de dados e até mesmo, por exemplo, sons. Desta forma, pode ser criado um banco de dados associado, em que as informações estejam disponíveis de forma muito mais eficiente, proporcionando rápido acesso. Sons, imagens, maquetes eletrônicas, simulação dos processos de fabricação e uma enorme quantidade de informação podem acompanhar o "desenho

técnico" em meios informatizados. A base técnica para isso, embora complexa, já é disponível.

Em verdade, a questão principal não é gerenciar bases de dados gráficas geradas em softwares diferentes (o que é ainda um grande desafio de base tecnológica), mas agregar de forma adequada todas as informações de projeto às novas mídias. Hoje um arquivo CAD não é somente uma versão eletrônica de um desenho realizado em prancheta (como é tratado na imensa maioria dos casos), mas sim um elemento multimídia, que pode agregar um imenso número de informações relacionadas ao projeto em desenvolvimento, o que era antes impossível através de meios físicos.

Também para o gerenciamento de diferentes bases de dados envolvidos em projeto são sugeridos sistemas de hipermídia (LEUNG, 1995), capazes de suportar as diferentes mídias envolvidas no processo e facilitar desta forma um adequado gerenciamento do projeto.

FRANZOSA (1992), chama a atenção para a necessidade de domínio e dificuldades de interação entre várias linguagens e tecnologias informacionais para a gerência de processo, como fator importante para a implantação de engenharia simultânea. Segundo o autor, algumas novas tecnologias como bases de dados relacionais e sistemas em rede podem oferecer uma alternativa a este problema.

*Object-oriented programming language*, ou linguagem de programação orientada ao objeto é, segundo PFAFFENBERGER (1992):

*"Uma linguagem de programação não procedural na qual os elementos do programa são conceituados como objetos capazes de transmitir mensagens entre si. (...) Na programação baseada em objetos, os módulos são independentes a ponto de permitir que sejam copiados de um programa para outro. Isto abre a possibilidade de herança das características dos objetos; ou seja, o usuário pode copiar e incluir novas funções em um objeto antigo e, em seguida, incorporar esse objeto a outro programa. Não é necessário recriar o objeto".*

As formas de programação orientada ao objeto, como C++, são mais extensas e possuem um grande número de informações, o que as torna inerentemente complexas, embora sua estruturação

<sup>10</sup> Segundo LÉVY (1995):

"T tecnicamente, um hipertexto é um conjunto de nós ligados por conexões. Os nós podem ser palavras, páginas, imagens, gráficos ou partes de gráficos, seqüências sonoras, documentos complexos que podem eles mesmos ser hipertextos. Os itens de informação não são ligados linearmente, como em uma corda com nós, mas cada um deles, ou a maioria, estende suas conexões em estrela, de modo reticular. Navegar em um hipertexto significa portanto desenhar um percurso em uma rede que pode ser tão complicada quanto possível. Porque cada nó pode, por sua vez, conter uma rede inteira."

em módulos permita que esta complexidade não seja demonstrada ao usuário. Requerem maior quantidade de memória e velocidade de processamento em relação às demais formas de programação, e estão bastante ligadas aos sistemas de interface gráfica.

Outro recurso baseado em sistemas CAD apontada pela literatura como apoio à Engenharia Simultânea é a de modelamento de sólidos, onde o desenvolvimento de produtos pode ser desde o início gerador de informações bastante detalhadas de projeto:

*"Computer solid modeling has enabled concurrent engineering to become the new approach to the process of detail design. It is possible to consider many facets of design, product testing and manufacturing simultaneously. Development of an integrated Computer-Aided Design and Manufacturing (CAD/CAM) data base from the computer solid model is the key element in communication and successful implementation of concurrent engineering. While generating a computer solid model, a design representation or model of the product is derived and a computer data base is being generated. This data base may be directly applied to all phases of design, analysis, prototyping, manufacturing, as well as marketing and packaging."* (KRUEGER, 1995)

### 3. APLICAÇÃO INTENSIVA DE SISTEMAS CAD.

No caso dos sistemas CAD, o conhecimento e o adequado controle do processo projetual ocorre, dentre outros fatores, através de uma consistente normalização técnica e padronização de procedimentos, sem o que qualquer tentativa de informatização esbarrará em uma mistura de diferentes "estilos de trabalho". Em relação a este assunto, MATTOS (1991) adverte:

*"Em qualquer sistema CAD, a padronização deve ser implantada prioritariamente, sob pena do sistema se tornar inviável a curto prazo. Se a*

*empresa não possui uma cultura de padrões e normas já implementada para os processos manuais, é melhor adiar a aquisição do CAD até que esta cultura esteja solidificada".*

Desta forma, deve-se levar em consideração que o CAD, assim como qualquer sistema informatizado, não é por si só elemento de melhoria de qualquer solução, mas simplesmente multiplicador da solução existente. Se esta é inadequada e apresenta deficiências, a implantação de sistemas de informação apenas servirá para trazer à tona uma série de problemas antes (mais facilmente) escamoteados.

O princípio do caminho para o sucesso parece estar em uma definição correta do problema a ser enfrentado. Em muitas empresas, os sistemas CAD, bem como outras formas de tecnologia informatizada, são vistos como soluções técnicas miraculosas para o desenvolvimento de projetos. Esta visão é naturalmente distorcida pela imagem gerada pelos fabricantes desses equipamentos, que procuram demonstrar que a utilização de sistemas CAD, mais do que uma fonte de benefícios para a empresa é, na verdade, uma ferramenta *essencial* à modernidade.

Sendo assim, não é estranho encontrar empresas que buscam aplicações adequadas ao CAD somente *após* a aquisição do sistema. Nestes casos, o sistema não surge como uma solução, mas como uma fonte adicional de problemas. Naturalmente que não é tarefa simples encontrar empresas (que admitam estar) nesta situação, mas pode-se desconfiar de relatos como "*após dois anos de experiência, o processo de implantação do CAD foi reestruturado em função de um novo sistema*" ou "*para ampliação do sistema foi adotada uma nova solução, radicalmente diferente da anterior*".

Para uma eficiente aplicação dos recursos disponíveis nos sistemas CAD em processos de engenharia simultânea, devem ser analisados dois aspectos básicos: (1) quais as formas de contribuição que estes sistemas realmente oferecem ao processo projetual como um todo, de uma forma geral e (2) quais as formas específicas de contribuição para os problemas peculiares à empresa.

Com relação ao primeiro aspecto, de nada adiantará a adoção de modernos sistemas informatizados se a empresa não estiver preparada para um efetivo gerenciamento da informação gerada durante os processos de projeto e produção. Muitas vezes a comunicação deixa de ocorrer de forma adequada devido a entraves ligados à

estrutura da empresa ou, por outro lado, tudo ocorre devido a uma série de relações basicamente pessoais, que ocorrem à revelia das limitações impostas pela estrutura organizacional.

Desta forma, fica claro que os conceitos ligados à engenharia simultânea somente poderão ser aplicados de forma consistente após uma reestruturação organizacional com vistas à permitir que todos os envolvidos no processo projetual<sup>11</sup> possam receber e fornecer informações pertinentes ao desenvolvimento do projeto. Somente após a consolidação deste ambiente propício à integração a implantação de novas tecnologias como sistemas CAD poderá surtir efeitos consistentes no que tange à integração e Engenharia Simultânea.

Na maior parte dos casos avaliados, as empresas não introduziram modificações relevantes no processo projetual, na estrutura da empresa ou mesmo do setor de projetos após a implantação do CAD, fazendo com que os esforços para validação do sistema e sua justificativa de aquisição fossem voltados quase que exclusivamente para aspectos ligados à aceleração pura e simples de determinadas etapas da atividade projetual (ou das atividades relacionadas ao desenho) como anteriormente desenvolvida.

Entretanto, deve-se levar em consideração uma situação conflitante existente na maioria dos casos levantados: por um lado a necessidade de modificações estruturais na empresa com vistas à modernização de seu setor de projetos (ou, até mesmo, a sua própria permanência em um mercado cada vez mais competitivo e próximo de padrões mundiais de preço e qualidade) e por outro a resistência, determinada muitas vezes por tentativas de manutenção do *"status quo"* daqueles que serão evidentemente afetados pela mudança.

Costuma-se imaginar que estas resistências são oriundas principalmente daqueles que, em princípio, são afetados diretamente pelo novo sistema, ou seja, os desenhistas e projetistas de prancheta. Entretanto, foram observadas formas mais ou menos veladas de posturas contrárias à implantação de novas tecnologias por parte do corpo gerencial responsável pelo setor de projeto, que muitas vezes teme pela perda de seu poder na empresa, especialmente diante da inserção de novos atores (analistas, pessoal de suporte, gerentes específicos para os sistemas CAD) no processo projetual.

<sup>11</sup> Não somente o pessoal de projeto de produto, mas também do planejamento e controle da produção e do chão de fábrica, bem como áreas como vendas, marketing etc.

Além destes, os novos profissionais de projeto representam séria ameaça em potencial, pois possuem um domínio muito mais desenvolvido das novas ferramentas tecnológicas. Naturalmente esta ameaça nem sempre é real, tendo em vista o fato de que o "saber tecnológico" da empresa muitas vezes vai além da utilização das novas ferramentas. Entretanto, em uma situação na qual palavras como "reengenharia", "globalização" e outras de conteúdo semelhante passam a fazer parte do dia a dia do mercado profissional qualquer ameaça torna-se preocupante<sup>12</sup>.

As formas de resistência por parte do *staff* gerencial são muitas vezes mais eficientes, menos perceptíveis e de mais difícil eliminação durante os processos de implantação de sistemas CAD, pois partem de pessoas que possuem na maior parte das vezes amplo poder decisório na empresa, podendo por isso atuar decisivamente para os resultados da aplicação de novas tecnologias e novos processos gerenciais (seja para seu sucesso ou para seu fracasso). Desta forma dificilmente um processo de implantação de sistemas CAD ou dos princípios ligados à engenharia simultânea poderá surtir resultados se não contar com o patrocínio ostensivo da alta administração e a compreensão do corpo gerencial. Este processo deve acontecer, pelo menos em seu estágio inicial, de cima para baixo.

A compreensão por parte dos escalões intermediários das empresas é essencial devido à importância de sua participação e de seu poder de difusão. A pesquisa realizada, entretanto, demonstra que isso nem sempre acontece, devido em muito à situação de insegurança que a aquisição de novas tecnologias costuma trazer para aqueles que, após mais de quinze anos de carreira esperavam ter atingido um patamar de segurança que as constantes inovações insistem em demonstrar que não existe.

<sup>12</sup> Foi relatada por um entrevistado a situação em uma empresa pesquisada na qual, ao ser realizada a renovação de equipamentos industriais do chão-de-fábrica, todo o corpo técnico foi trocado (da mesma forma que os equipamentos!). Pode-se dizer que "são os efeitos da globalização" (argumento da alta administração), mas é o ponto de vista deste trabalho que as pessoas, de uma forma diferente das máquinas, não devem ser consideradas como "obsoletas" ou destinadas à "sucata". Além disso, pode-se considerar que os conhecimentos "não acadêmicos" adquiridos pelos antigos funcionários são essenciais ao desenvolvimento adequado da produção e que serão inevitavelmente perdidos no processo de modernização.

Mais um elemento pertinente à esta situação é o fato de que a maioria das empresas no Brasil passa atualmente por processos bastante dolorosos de reestruturação, ainda frutos da "onda" da reengenharia e do "choque" provocado pela abertura do mercado às importações. Estas reestruturações, no afã de reduzir custos, acabam se voltando mais para a eliminação de pessoal do que para uma real revisão de todo o "processo empresarial" (COSTA, 1995, e SCHWARTZ, 1995).

*"No chão de fábrica ou nos corredores da grande corporação, a reengenharia pode ter ainda o efeito colateral de aterrorizar os trabalhadores, gerentes e diretores. Estarão todos com medo de errar demais, ou inventar demais. O organismo empresarial vai, assim, perdendo o tônus muscular" (SCHWARTZ, Op.Cit).*

Em um cenário como este, torna-se ainda mais difícil promover grandes modificações que levam a níveis de intensiva utilização de sistemas CAD como forma de adoção da Engenharia Simultânea. Nestes casos, seria necessário promover modificações de vulto na estrutura e métodos de trabalho da empresa, o que é extremamente difícil a partir da situação atual.

Ainda assim, a realidade vem demonstrando que as empresas necessitam cada vez mais de inovações para a manutenção de seus mercados e seu crescimento diante de formas de concorrência cada vez mais acirrada. As formas de reestruturação centradas na redução de custos são, em nossa opinião, de efeito limitado diante do número cada vez maior de novos e melhores produtos disponíveis no mercado.

Ainda segundo nossa opinião, as empresas brasileiras somente conseguirão atingir um patamar que torne o país industrialmente desenvolvido quando estiverem voltadas para o desenvolvimento de produtos avançados tecnologicamente e apropriados às necessidades de seus usuários, sejam estes os consumidores finais como todos os demais envolvidos nas diversas etapas do ciclo de vida dos produtos: concepção, fabricação, transporte, manutenção, desativação e reciclagem.

Para que isso seja possível, é fundamental que as empresas possuam um forte grupo de projeto, que seja capaz de determinar, organizar e gerenciar o elevado número de informações necessárias à uma adequada atividade projetual. Para que estes objetivos sejam alcançados, em

muito poderão contribuir (embora de forma isolada não constituam fatores determinantes) a adequada utilização de recursos informatizados de apoio ao projeto e os princípios da Engenharia Simultânea.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- BOURKE, Richard W., 1993, *"New solutions for old problems: product data management and configurator systems"*. In: Annual International Conference Proceedings - American Production and Inventory Control Society 1993. Publ by APICS, Falls Church, VA, USA. p 514-577
- COSTA, Caio Túlio, 1995. *"Salvem Nossas Almas"*. In: Folha de São Paulo. São Paulo (25/jun).
- COSTA, Clayton Pires da, 1994, *"Reengenharia do processo de desenvolvimento de produtos baseada em engenharia simultânea e na tecnologia Workgroup Computing"*. In: Anais do 5º Congresso Nacional de Automação - CONAI'94 (CD Rom) São Paulo: SOBRACON - Sociedade Brasileira de Comando Numérico, Automação Industrial e Computação Gráfica.
- FRANZOSA, Richard G., 1992, *"CAPP: Manufacturing Data Management for Concurrent Engineering"*. In: AUTOFACT, Conference Proceedings 1992. Publ by SME, Publisher, Manufacturing Engineering, Dearborn, MI, USA. p 22-13-30.
- HAMMER, Michael e CHAMPY, James, 1994, Reengenharia - Revolucionando a Empresa. 16ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- KRUEGER, Thomas J., 1995, *"How computer solid modeling is altering the process of detail design"*. In Tribology Symposium 1995 American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division (Publication) PD v 72 1995. ASME, New York, NY, USA. p 109-113.
- LEUNG, Horris C. 1995, *"Collaborative manufacturing environment with the use of hypermedia"*. In: Software Systems in Engineering 1995 American Society of Mechanical Engineers, Petroleum Division (Publication) PD v 67. ASME, New York, NY, USA. p 121-129.
- LÉVY, Pierre. 1995, As Tecnologias da Inteligência - O Futuro do Pensamento na

- Era da Informática. Tradução de Carlos Irineu da Costa. Rio de Janeiro: Editora 34.
- MATTOS, J.H.V., 1991, Gerência de Projetos em CAD. 4ª edição. Rio de Janeiro: Microequipo Computação Gráfica.
- MILLS, Robert. 1995 "CAD/CAM in Aerospace". In CAE-COMPUT-AIDED-ENG. Vol. 14, no. 2, 4pp.
- OKADA, Kouji; ARAI, Eiji., 1993, "*Form feature to describe designers' intentions in mechanical design*". In: Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part C v 59 n 565 (Sep). p 2890-2897.
- OKAWA, Kenzo; SATO, Seizen; HARAGUCHI, Takao, 1994, "*Integration management system for technical information*". In NEC Research & Development v 35 n 2 (Apr). p 205-215
- PARKS, Charles M.; Koonce, David A.; Rabelo, Luis C.; Judd, Robert. P.; Sauter, John A., 1994, "*Model-based manufacturing integration: A paradigm for virtual manufacturing systems engineering*." In: Computers & Industrial Engineering v 27 n 1-4 (Sep). p 357-360
- PFAFFENBERGER, Bryan, 1992 Dicionário dos Usuários de Micro Computadores. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda.
- REIMANN, M. D. e HUQ, F. A., 1992, "*Comparative Analysis Approach for Evaluating the Effect that Concurrent Engineering has on Product Life Cycle Cost*". In Flexible Automation and Information Management- FAIM (Jul) New York.
- ROMEIRO Fº, E., 1993, A Implantação de Sistemas CAD na Indústria: Aspectos Gerenciais, Ergonômicos e Organizacionais. Tese M.Sc. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 180 pp.
- RUECKER, Lukas; SEERING, Warren P. 1992, "*New data model for information management systems in engineering*". In: American Society of Mechanical Engineers (Paper). Publ by ASME, New York, NY, USA. p 1-7 92-WA/EDB-6
- SCHWARTZ, Gilson., 1995, "*Reengenharia pode Provocar 'Anorexia'*". In: Folha de São Paulo (9/jul) São Paulo.
- SEMLER, Ricardo. 1995, "*Reenganaria*". In: Folha de São Paulo. (19/mar) São Paulo.
- SHA, Ma. 1993, "*Feature-based information modelling technique*". In: Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering v 4 n 3 (Jun). p 10-13.
- THOMAS, Merle Jr. 1994, "*Concurrent engineering design and production*". In: Annual International Conference Proceedings - American Production and Inventory Control Society 1994. APICS, Falls Church, VA, USA. p 185-189.
- WALLACE, Scott. 1994, "*Accelerating engineering design*". In Byte v 19 n 7 (Jul). p 62-76.