



## **MUDANÇAS NO PROJETO, FABRICAÇÃO, NORMALIZAÇÃO E ENSINO DE ENGENHARIA DEVIDO AO AVANÇO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA**

### **Osiris Canciglieri Junior**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) – Laboratório de Automação e Sistemas (LAS) – Av. Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho, Curitiba PR – CEP 80215-030 – e-mail: osiris@rla01.pucpr.br.

### **Tiago Francesconi**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) – Engenharia Mecatrônica – Av. Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho, Curitiba PR – CEP 80215-030 – e-mail: ibaza@hotmail.com.

### **Mariano Pacholok**

Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) - REPAR - e Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) – Engenharia Mecânica – Rodovia do Xisto, km 16 – Araucária PR – CEP 83700-970 – e-mail: marianop@uol.com.br.

**Resumo.** *Com a facilidade de acesso aos softwares e hardwares devido à diminuição do seu custo, empresas de modo geral, atualmente, possuem no seu ambiente de projeto microcomputadores e softwares-ferramentas no suporte às atividades de engenharia de produto, de manufatura, de planejamento e outros. Como consequência desse processo o sistema de ensino de engenharia obriga-se a atender o mercado através da promoção do conhecimento genérico adaptável ao setor de projetos das empresas. A diversidade de ofertas de softwares-ferramentas requer normalização que permita a integração entre os diferentes sistemas. Este artigo aborda o uso de uma metodologia de projeto auxiliado por computador e as mudanças no projeto, fabricação, normalização e ensino de engenharia devido ao avanço da computação gráfica*

**Palavras-chave:** *Projeto Auxiliado por Computador, Padronização de Projetos, Metodologia de Ensino, Normalização.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Com o advento da informática a um custo mais acessível, tanto em softwares, processadores, periféricos e teleprocessamento, grande parte das empresas têm executado seus projetos utilizando o computador e aplicativos computacionais específicos.

O Projeto Assistido por Computador de um modo geral pode ser considerado uma metodologia na qual projetistas e engenheiros utilizam a capacidade de modelagem e a capacidade de processamento dos sistemas computacionais para cálculos, desenho em vistas ortogonais, planejamento da produção e simulações diversas. Estes sistemas são atualmente considerados ferramentas indispensáveis em diversos seguimentos da engenharia.

Por este motivo é que cada vez mais escolas técnicas e universidades, interessadas na melhor formação de seus alunos, estão investindo em sofisticados laboratórios computacionais para suprir esta necessidade de mercado. Estes laboratórios podem ser de modelagem geométrica, de manufatura assistida, de engenharia e realidade virtual. Devido à diversidade de ofertas destas

ferramentas de trabalho o ensino deve promover o conhecimento genérico com ênfase na normalização e na modelagem de informações evitando que o aluno torne-se simplesmente um usuário de um sistema específico.

## 2. COMPUTAÇÃO GRÁFICA

Na década passada, quando se desejava produzir uma peça qualquer era necessário desenvolver um projeto mecânico. Este projeto possuía toda parte mecânica da produção do produto como desenhos técnicos, análise de resistência do material e dinâmica, máquinas que melhor poderiam produzi-lo, ferramentas e outros. Mesmo que o projeto fosse simples consumia um grande tempo se comparado com o tempo consumido nos dias de hoje. Com o advento dos microcomputadores veio também o avanço da computação gráfica que revolucionou o que chamamos de projeto mecânico. Hoje, a partir de softwares gráficos potentes pode-se esboçar e manipular dinamicamente, com muita facilidade, modelos virtuais que antes eram apenas imaginados.

A figura 1 ilustra o relacionamento da computação gráfica com áreas correlatas, isto é, processamento de dados tradicional, processamento digital de imagens e reconhecimento de padrões. No processamento de dados tradicional o computador recebe dados, processa e devolve dados da mesma natureza. Na computação gráfica o computador recebe dados de qualquer natureza, processa e devolve os dados transformados em imagens, através de um dispositivo de saída gráfica. No processamento digital de imagens o computador recebe uma imagem origem, processa e devolve outra imagem. No reconhecimento de padrões suas técnicas permitem obter a partir de uma imagem informações geométricas e tipológicas sobre os modelos de origem.

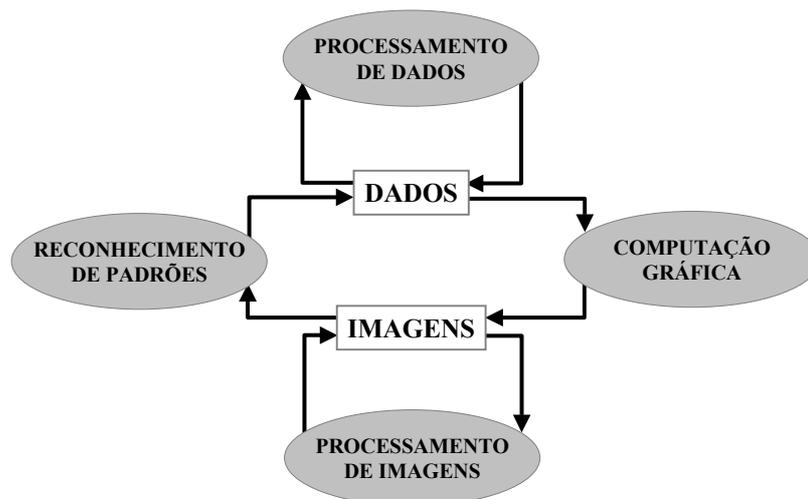


Figura 1 - Relacionamento da computação gráfica com áreas correlatas.

### 2.1 - Modelos virtuais

Os modelos virtuais gerados por um software de desenho fornecem todas as informações necessárias para a concepção do produto. A partir da modelagem tridimensional do produto pode-se ter a sensação de que o mesmo é real, pois é possível manipulá-lo e visualizá-lo, inclusive internamente, sob qualquer ponto de vista. Este fato é muito importante, pois facilita muitas operações, por exemplo, em peças de conjunto que necessitem um encaixe, nas análises estéticas e funcionais da peça, também reduz a ocorrência de erros e perda de tempo na interpretação geométrica.

A computação gráfica na área desenho técnico é comparada com a invenção da roda. Hoje ninguém mais faz um desenho técnico sem o auxílio do computador, fica praticamente inviável.

Dois pontos que podem provar esta afirmação são o tempo de produção do desenho e a facilidade de atualizações.

Uma vez modelado geometricamente um produto pode-se apenas com uma operação gerar automaticamente as vistas ortogonais que a norma técnica de desenho exige. Com outra operação coloca-se uma folha (ex. A1 e A2) dentro dos padrões que o usuário desejar, estas folhas são armazenadas na forma de bibliotecas gráficas. As bibliotecas são desenhos padrões que agilizam o trabalho do usuário, elas podem fazer parte de qualquer desenho, porém geralmente elas são formadas por símbolos (eletrônicos, mecânicos e outros). Estas operações podem consumir poucos minutos dependendo da habilidade do usuário e da capacidade de processamento, porém até os usuários iniciantes já estarão superando e muito os métodos manuais que eram efetuados em pranchetas com instrumentos manuais. Pelos métodos manuais era difícil efetuar atualizações, pois era necessário em muitos casos desenhar tudo novamente. Hoje para se fazer uma alteração em um desenho através do computador, dependendo do software, basta apenas alterar o modelo tridimensional que o próprio software faz as atualizações nas respectivas derivações.

Hoje é possível guardar grande quantidade de informações em pequeno espaço físico (meios magnéticos e semelhantes), mantendo-se a integridade dos dados. Antes era ocupado grandes espaços com mapotecas e armários. Também o custo era alto com cópias heliográficas, papel vegetal, microfimagem e transporte físico dos desenhos. Uma simples consulta a um documento (desenho, esquema e outros) não se dá tirando uma fotocópia do original e enviando-se ao usuário, mas é feita através de softwares visualizadores os quais são operados pelos próprios usuários permitindo o múltiplo acesso, em qualquer tempo, ao fonte atualizado. Essa consulta pode ser informações dimensionais interativas, lista de itens, tipos de materiais, visualização dinâmica do modelo entre outros.

Atualmente, com os avanços de teleprocessamento, é possível realizar projetos com grupos fisicamente distantes. Isso é possível devido a integração entre as ferramentas, normalização, velocidade e confiabilidade de transferência das informações e políticas de globalização.

Além da revolução na área dos desenhos, o computador facilita a análise estrutural mecânica. Esta análise era feita através de cálculos por engenheiros utilizando-se calculadoras científicas. Nestes cálculos dimensionava-se os esforços que um produto sofreria. Hoje, estes cálculos podem ser efetuados e testados computacionalmente, possibilitando a análise mais concreta e confiável, uma vez que reduzem a zero a falha humana nos cálculos.

## **2.2 – Modelagem Geométrica**

Para a concepção geométrica tridimensional de um sólido qualquer (produto) basicamente utiliza-se como ponto de partida uma região geométrica plana (perfil) e a partir desta faz-se operações de sólidos primitivos (prisma, cilindro, cone, esfera, toróide e outros), extrusão, revolução e operações booleanas. Neste artigo não será detalhado o uso de sólidos primitivos, uma vez que, este assunto é amplamente conhecido.

### **2.2.1 – Operação de Extrusão**

A operação de extrusão nada mais é do que a projeção perpendicular de uma região geométrica plana fechada. A extrusão pode ser paralela ou cônica como ilustrado na figura 2. A figura 2a ilustra um exemplo de extrusão paralela enquanto que a figura 2b ilustra um exemplo de extrusão cônica. Um caso típico de aplicação de extrusão cônica se dá em projetos de moldes de injeção de plásticos e fundição.

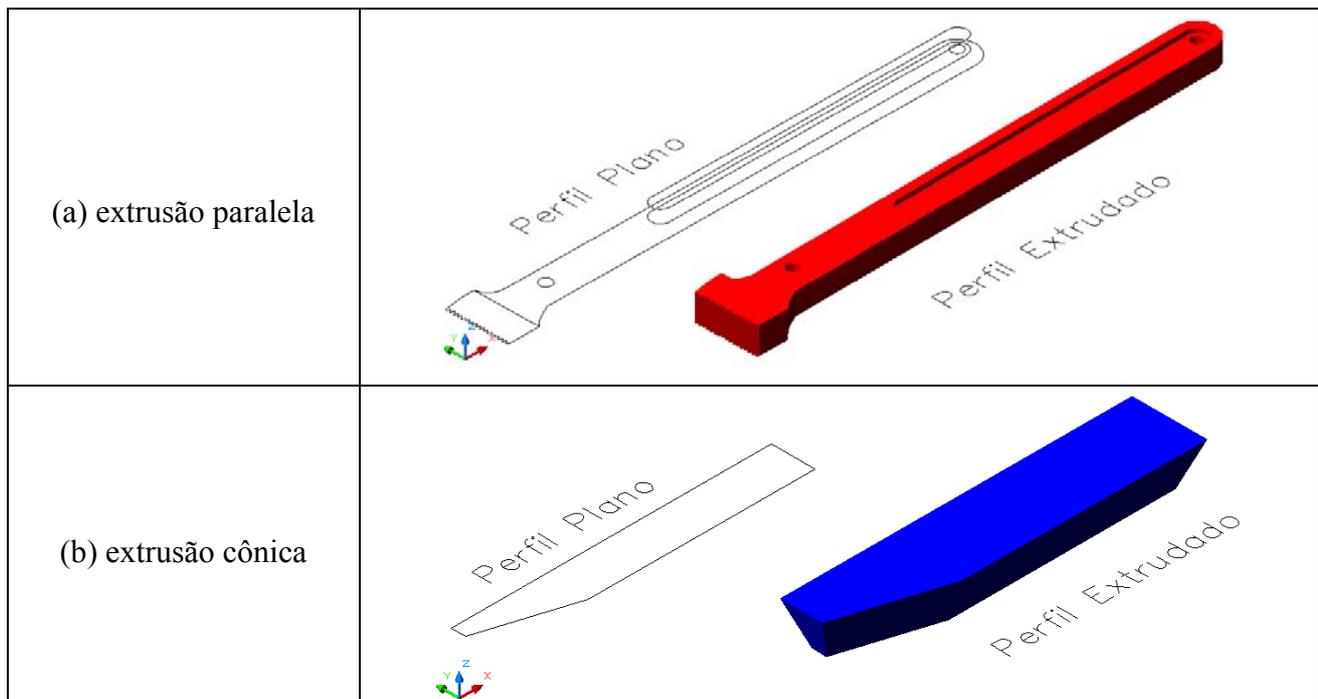


Figura 2 - Exemplo de operação de extrusão.

### 2.2.2 – Operação de Revolução

A operação de revolução é a projeção angular de uma região geométrica plana. A figura 3 ilustra um exemplo de um eixo modelado a partir de um perfil.

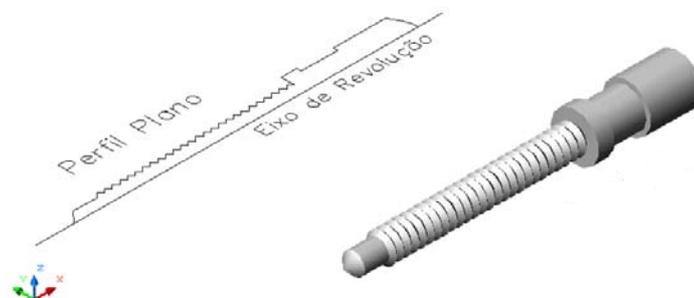


Figura 3 - Exemplo de operação de revolução.

### 2.2.3 - Operações Booleanas

Dependendo da complexidade do sólido a ser gerado é praticamente impossível criar modelos tridimensionais a partir de somente sólidos primitivos, extrusão e revolução. Uma forma de se fazer modelagem complexa é através da união, subtração e interseção de sólidos primitivos ou menos complexos. Esse tipo de operação chama-se operação booleana.

A operação booleana de união é utilizada quando há necessidade de unir dois ou mais sólidos. Uma ilustração dessa operação pode ser vista na mesa representada na figura 4a. A modelagem geométrica da mesa se dá por partes. Primeiramente usa-se sólidos primitivos, seguindo-se de operações de extrusão e, por último, de operações de união. A figura 4b ilustra o sólido haste sendo unido aos sólidos pé 1, 2, 3 e 4. A figura 4c mostra o perfil plano do tampo da mesa e o extrudado.

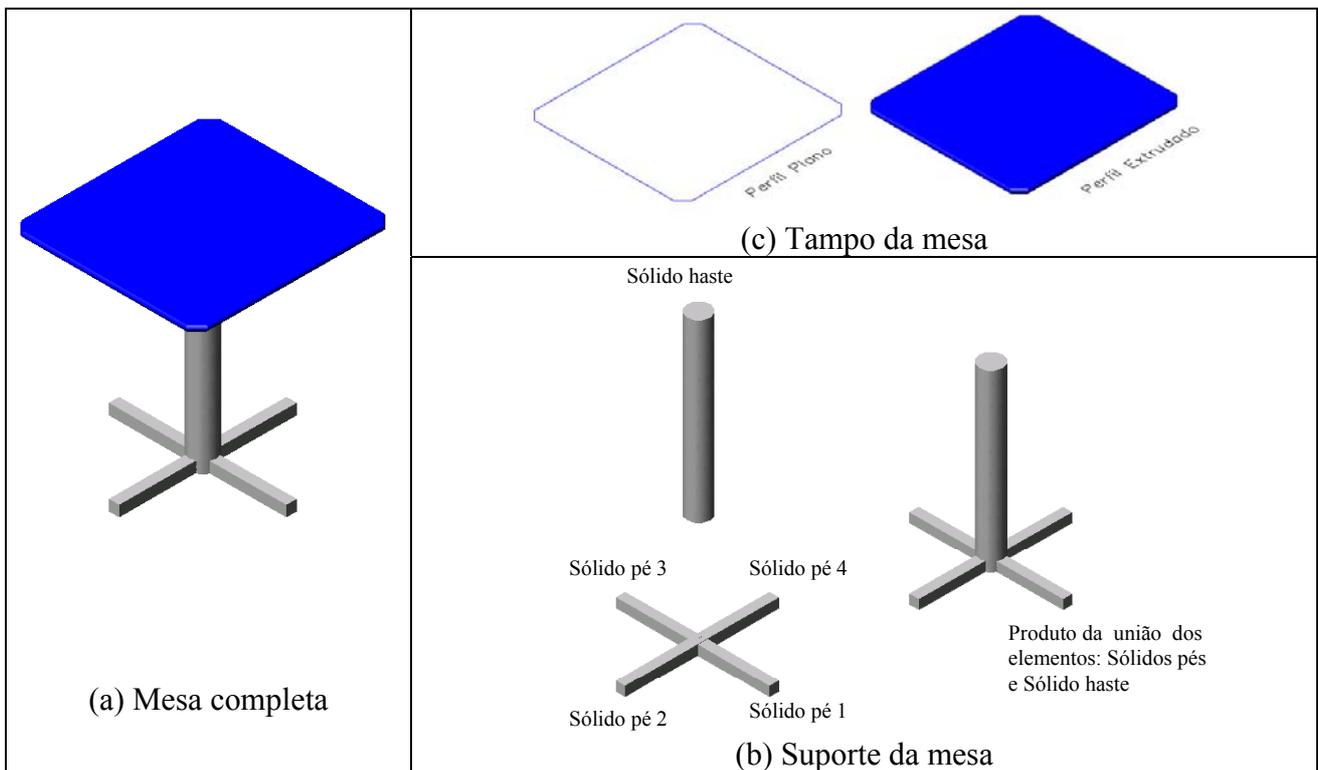


Figura 4 - Exemplo de operação booleana de adição

A operação booleana de subtração é utilizada quando há necessidade de se obter partes vazias ou ocas. Essas partes podem ser furos, canais e outros. A figura 5 ilustra três casos de geometrias obtidas pela aplicação da operação de subtração. Os detalhes “a” e “b” ilustram furos e o detalhe “c” ilustra um encaixe.

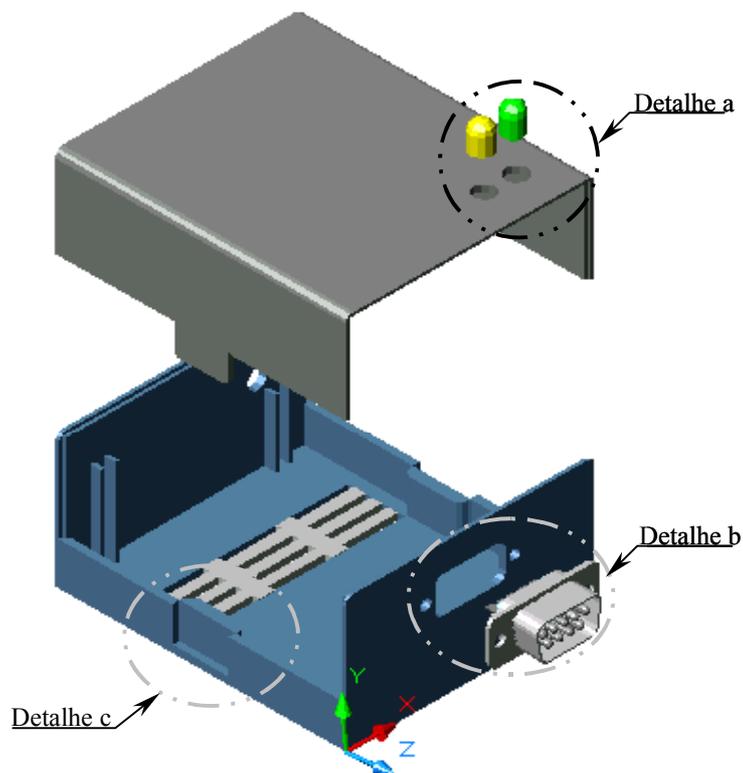


Figura 5 - Exemplo de operação booleana de subtração

A operação booleana de intersecção é utilizada para a obtenção do sólido comum entre os sólidos em interação. A figura 6a mostra um cilindro, a figura 6b mostra uma esfera, a figura 6c mostra a interação entre os dois sólidos e a figura 6d mostra o resultado da operação de intersecção que é um cilindro com extremidades esféricas.

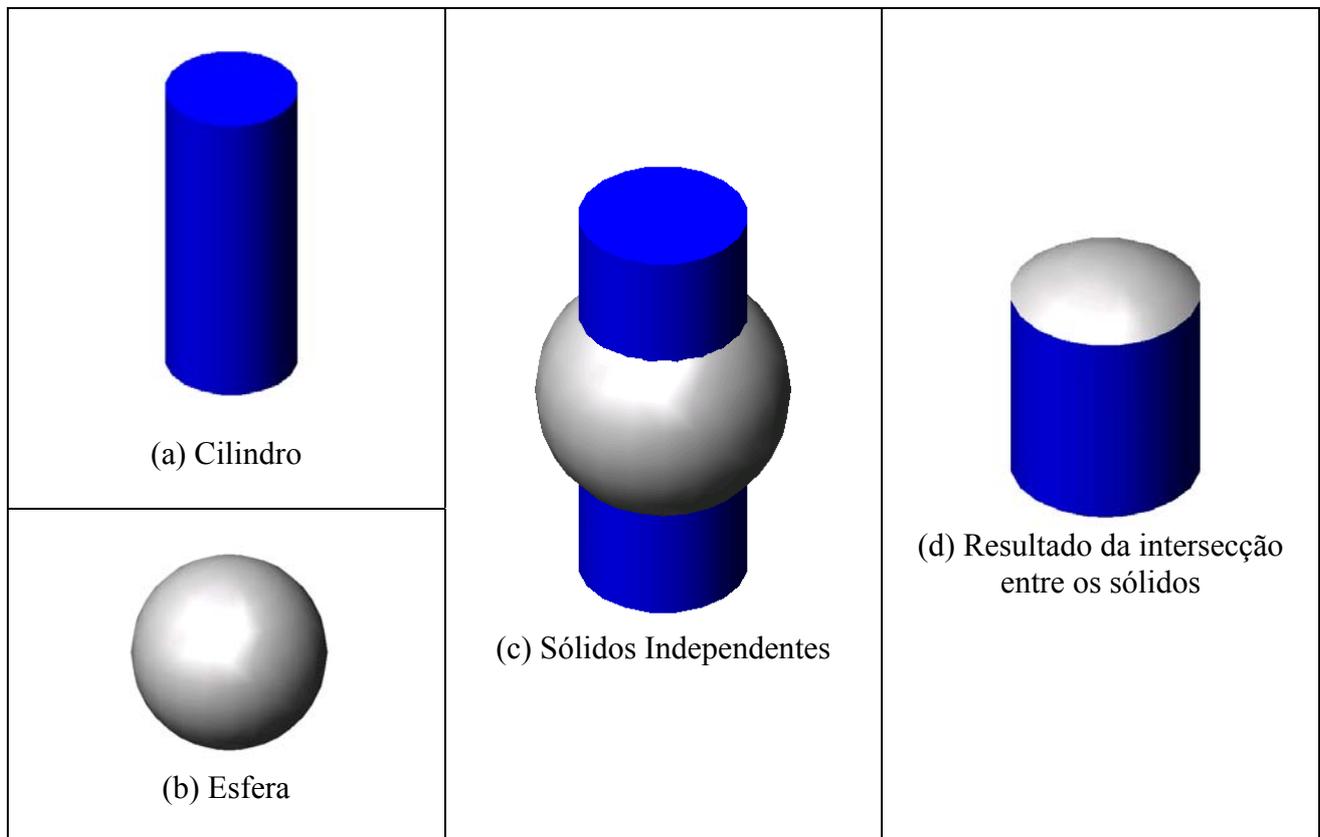


Figura 6 - Exemplo de operação booleana de intersecção

### 3. FERRAMENTAS MATEMÁTICAS

Dependendo da complexidade do produto ou do projeto é necessário o uso de operações matemáticas (álgebra linear, geometria analítica, integrais, derivadas, limites e outros). Na maioria dos casos esses cálculos são difíceis e trabalhosos para serem executados manualmente. Dessa forma, visando a otimização do tempo e precisão dos resultados utiliza-se ferramentas computacionais de cálculo, como por exemplo, o Matlab (Matsumoto 2001) e o Labview (Jamal e Pichlik 1999), entre outros.

Essas ferramentas, quando utilizadas corretamente, oferecem confiabilidade nos resultados. Qualquer função humana está sujeita a erros, porém existem situações que o erro não é admitido, por exemplo, na construção de uma ponte, nos cálculos dimensionais e de esforços que uma peça de avião sofrerá ou em qualquer outra aplicação que envolva uma vida humana.

Além da confiabilidade o resultado é obtido com rapidez e repetidas vezes quando necessário. Atualmente, vários fatores representam custo e um dos mais relevantes é o tempo. Qualquer trabalho que consuma muito tempo consome também trabalho de empregados, muito esforço e conseqüentemente tem seu custo elevado.

### 4. SIMULAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS

No passado todo produto, antes de aprovado para fabricação definitiva, necessitava de testes reais conhecido como protótipo. Atualmente, com o desenvolvimento de softwares de realidade

virtual é possível fazer análises do produto sem que este esteja fisicamente construído. Como exemplo disso pode-se citar análise aerodinâmica de veículos, escapamentos de carros e caminhões.

Esse ambiente virtual possibilita a melhoria da qualidade de um produto e a redução do tempo de lançamento deste no mercado. Uma forma de melhorar a qualidade de um produto é saber como ele se comportará em uma situação real, ou seja, como o produto suportará uma determinada temperatura ou como resistirá à um esforço qualquer. Nestes ambientes todas as situações podem ser simuladas para poder prever exatamente qual a reação do produto e criar soluções para futuros defeitos que eles possam apresentar.

## 5. SIMULAÇÃO DE PROJETOS ORIENTADOS PARA A MANUFATURA

Visando uma maior integração entre as diversas atividades de projeto e de manufatura pesquisadores vem tentando destruir as barreiras que antes existiam entre o setor de projeto e manufatura. Desta linha de pensamento que começaram surgir, em meados dos anos 80, os chamados sistemas de projeto orientados para a manufatura (DFM – Design for Manufacture). Esta metodologia ganhou espaço significativo uma vez que começou aí os princípios de atividades das chamadas Engenharia Simultânea e Engenharia Concorrente no início dos anos 90. A partir desse momento especialistas de diversas áreas, dentro da empresa ou mesmo entre diferentes empresas, começaram a se reunirem para juntos tomarem decisões conjuntas de projeto, evitando dessa forma, futuros problemas durante o processo de manufatura dos produtos, rejeição do produto por parte dos consumidores, melhor racionalização da infraestrutura da empresa para a produção dos produtos e tempo excessivo para lançamento do produto no mercado

A partir dessa necessidade de integração que pesquisadores vem tentando unir sistemas de projeto informatizados, os chamados sistemas CAD, com os recursos disponíveis no chão-de-fábrica (tipos de processos, máquinas, ferramentas, material, entre outros). Estas pesquisas foram intensificadas envolvendo a tecnologia de features muito difundidas de maneira limitada, isto é, atuando sobre um único ponto de vista (Dixon *et.al.*1990, Duan *et.al.*1993, Gadh *et.al.*1991, Gao e Huang 1996, Krause *et.al.*1995). O estudo da tecnologia de features pode ser dividida em três linhas de pensamento, as chamadas de reconhecimento de características tecnológicas (features recognition), de projeto baseado em características tecnológicas (design by features) e de uma forma híbrida, isto é, unindo partes das duas linhas descritas anteriormente. O método de reconhecimento de características tecnológicas teve um avanço significativo em diversas áreas como, por exemplo, na identificação de cores de fotos tiradas por satélite para a determinação de desmatamento ou queimada de florestas. Todavia, em termos de projeto orientado para a manufatura esse método de associação de dados tecnológicos à entidades geométricas tornou-se inviável devido as infinitas possibilidades de reconhecimento.

O método de projeto baseado em características tecnológicas teve valor significativo uma vez que a modelagem geométrica é associada a dados tecnológicos durante o processo de modelagem. O método não permite que o usuário crie perfis geométricos que não serão possíveis de fabricar pelos processos existentes no chão-de-fábrica. Todavia o ponto negativo desse método está na limitação da criatividade por parte do usuário devido a impossibilidade de criação de perfis geométricos que não sejam definidos na biblioteca paramétrica, como ilustrado na figura 7. A figura ilustra o perfil de um peça rotacional que pode ser dividida em primitivas, isto é, linhas paralelas, linhas inclinadas e linhas perpendiculares ao eixo de revolução. A figura também ilustra duas caixas de diálogos responsáveis pela interação entre o usuário e o sistema. A caixa da esquerda apresenta as alternativas que o usuário possui quando o mesmo desejar executar um torneamento cilíndrico enquanto que a caixa da direita um torneamento cônico. Toda informação fornecida pelo usuário será armazenada num banco de dados onde o perfil geométrico fica associado aos dados tecnológicos referentes ao seu processo de fabricação.

O método híbrido de projeto baseado em características tecnológicas é utilizado quando se necessita tanto o processo de reconhecimento como o de funções pré-definidas para a obtenção do

perfil geométrico trabalhando de forma conjunta ou mesmo de forma intercalada. Este método ganhou força com a ascensão da metodologia de programação orientada a objeto.

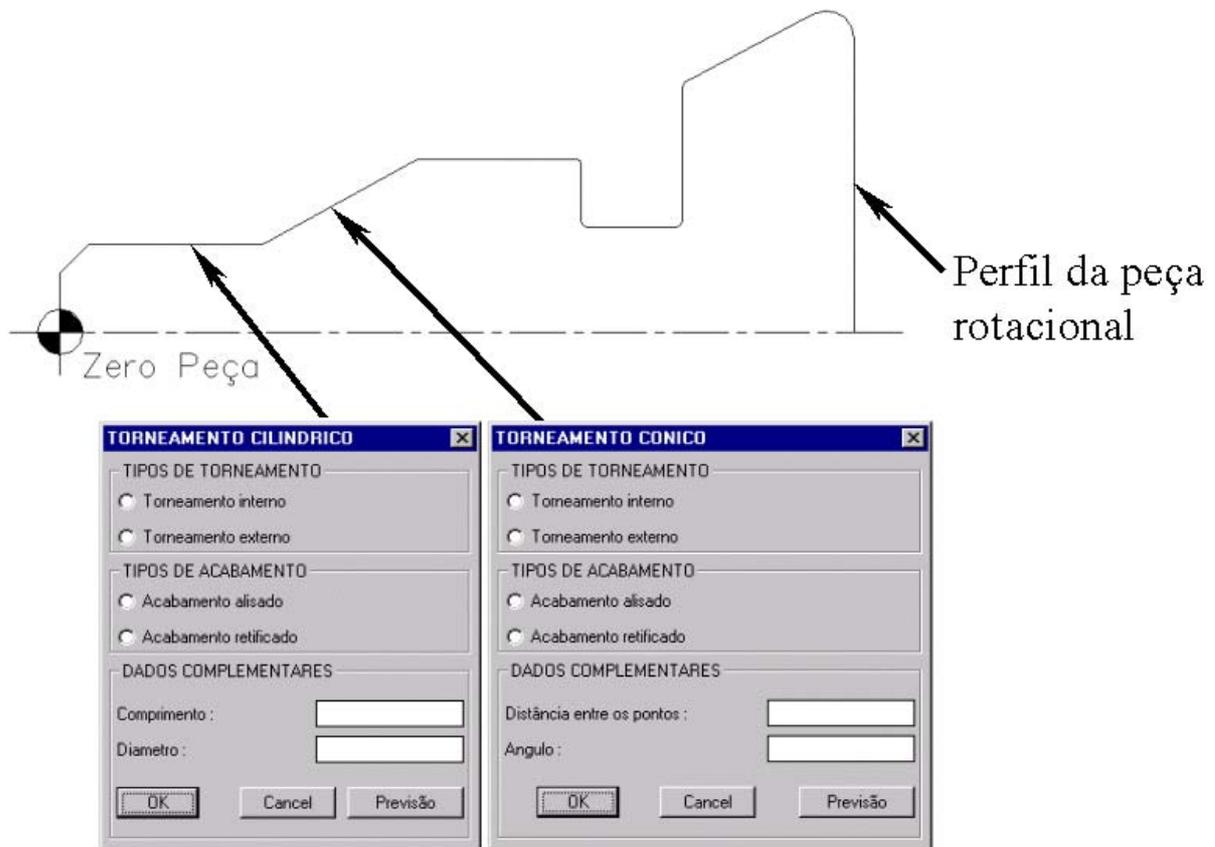


Figura 7 - Figuras do projeto auxiliado por computador para manufatura

## 6. SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Como descrito anteriormente pode-se simular qualquer ambiente ou situação. Fazer uma simulação é como prever o futuro. Se puder prever o futuro podemos prever acidentes e erros que eventualmente poderiam ocorrer. Com a simulação os erros aparecem, por exemplo, a trajetória de um robô definida pelo usuário é seguida por pontos no plano cartesiano. Qualquer ponto errado fará com que o robô faça um movimento diferente do desejado podendo causar um choque entre o robô e o operador ou um choque do robô com outro objeto. Esses erros podem virar prejuízos enormes, pois equipamentos do porte de robôs possuem custo elevado e demoram ser consertados, indisponibilizando áreas de produção. Da mesma forma que na prevenção de acidentes, a simulação pode ser muito importante na decisão de soluções de erros de lógica de um processo. Com a simulação de um processo pode-se visualizá-lo como um todo, podendo decidir os caminhos e a ordem de produção que levará um menor tempo em uma esteira.

## 7. NORMALIZAÇÃO NA MODELAGEM DO PRODUTO

Durante o período onde o projeto era executado de forma totalmente manual, ou seja, desenhado em papel, elaborou-se uma grande quantidade de normas para atender as demandas de transporte, guarda dos projetos e facilidade e universalização de interpretação. Nesse período não havia normas que contemplassem a modelagem tridimensional.

Atualmente, com a evolução dos sistemas de projetos manuais para os sistemas informatizados, surgiram diferentes formas de modelagem resultando numa heterogeneidade de informações, isto é,

a não integração entre sistemas distintos causando retrabalhos para migração de informações e, conseqüentemente, elevando os custos do produto e a demora do seu lançamento no mercado.

A partir de 1994, citado por Schützer e Henriques 2001, o Standard for Exchange of Product Model Data (STEP) iniciou um grande trabalho no sentido de normalizar os sistemas de projetos auxiliados por computador, culminando, em 2001, na edição das primeiras normas para esta finalidade através da International Standardization Organization (ISO).

## **8. MUDANÇAS NO ENSINO DOS CURSOS DE ENGENHARIA**

O processo de ensino de engenharia atual está em grande parte baseado em recursos computacionais. A computação gráfica vem promovendo mudanças expressivas nos cursos de engenharia mecânica e mecatrônica, mas pode-se estendê-las a quase todos os cursos de graduação da área tecnológica. Já é realidade a substituição de softwares da classe CAD não parametrizados por softwares totalmente parametrizados e integrados às classes CAM e CAE.

Nem tudo sofre mudanças. Na disciplina de desenho técnico o ensino de vistas ortogonais e sua respectiva normalização requer a execução de exercícios manuais, principalmente para a apropriação do conhecimento de interpretação dos desenhos gerados a partir do modelo.

A associação teoria prática fica estabelecida completamente pelo fato dos softwares usados nas universidades serem exatamente os mesmos que os usados nas empresas.

Os conhecimentos genéricos de modelagem e de operação dos softwares gráficos tornaram-se tão necessários quanto os conhecimentos de matemática ou física e de software básico como um processador de textos. Esses conhecimentos tornam-se pré-requisitos por que são usados nas várias disciplinas dos cursos de engenharia e necessitam permanente atualização exigindo uma troca contínua entre o sprofessores.

Ainda não é realidade no conteúdo programático dos cursos de engenharia o tratamento detalhado do conceito de modelagem e simulação, de documentação científica e tecnológica usando visualizadores dinâmicos e de normalização para integração entre sistemas CAD, CAM e CAE. Também imagina-se que futuramente será possível estabelecer, com facilidade, a integração online entre universidades e empresas de forma que os profissionais dessas empresas possam mostrar aplicações reais de engenharia durante uma aula.

## **9. CONCLUSÃO**

Este trabalho enfatizou a necessidade do ensino de engenharia estar, o máximo possível, de acordo com as necessidades das empresas. Este processo requer das escolas investimentos tanto em equipamentos quanto em treinamento do corpo docente. A metodologia de projeto assistido por computador engloba várias áreas do conhecimento como o técnico, a normalização e as ferramentas computacionais. O conhecimento técnico não teve um avanço tão expressivo quanto o da computação gráfica. A normalização foi obrigada a ser reestruturada, uma vez que agora a tendência é criar produtos em ambientes virtuais tridimensionais. Para isso as normas têm que contemplar a integração entre os diferentes sistemas de projetos. As ferramentas computacionais foram as que mais avançaram tecnologicamente em diversos segmentos da engenharia desde a modelagem geométrica, passando por diversas fases de cálculos, simulações virtuais, integração total com a manufatura até a comunicação sem barreiras de distância e tempo. A necessidade de integração requer, no processo de ensino de engenharia, uma ampla apropriação do conhecimento em diversas áreas e um planejamento consolidado por equipe de professores, ou seja, a interdisciplinaridade.

## 9. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

## 10. REFERÊNCIAS

- Dixon, J.R., Libardi, E.C. and Nielsen, E.H., Unresolved research issues in the development of design-with-features systems. In M. J. Wozny, J. U. Turner and K. Preiss (eds.), Geometric Modelling for Product Engineering, 1990, Amsterdam, Holland, pp. 183-196.
- Duan W., Zhou J., and Lai K., “FMST: A feature solid-modeling tool for feature-based design and manufacture”, Computer Aided Design, 25, pp. 29-38, 1993.
- Gadh, R., Gursoz, E.L., Hall, M.A., Prinz, F.B., and Sudhalkar, A.M., Feature abstraction in a knowledge-based critique of designs. Manufacturing Review, 1991, vol. 4, pp.115-125.
- Gao, J.X. and Huang, X.X., Product and Manufacturing Capability Modelling in an Integrated CAD/Process Planning Environment. International Journal Advanced Manufacturing Technology. 1996, Vol. 11, pp. 43-51.
- Jamal, R. and PICHLIK, H., LABVIEW Applications and Solutions, ed. Prentice Hall, 1999, ISBN 01-3096-423-9
- Krause F.L., Ciesla M., Rieger E., Stephan M. and Ubrich A. – Features – Semantic Objects for the Integration of Tasks in the Product Development process. Proceedings of the Computers in Engineering Database Symposium, ASME,1995.
- Matsumoto, E.Y., MATLAB 6: fundamentos de programação, ed. Érica, 2001, ISBN 85-7194-757-0.
- Schutzer, K., Henriques, J.R., Como as normas STEP podem integrar o modelamento do produto, Revista Máquinas e Metais, julho 2001, pp. 100 – 117.

## COMPUTER AIDED DESIGN IN THE MECHATRONICS ENGINEERING TEACHING

### **Osiris Canciglieri Junior**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) – Laboratório de Automação e Sistemas (LAS) – Av. Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho, Curitiba PR – CEP 80215-030 – e-mail: osiris@rla01.pucpr.br.

### **Tiago Francesconi**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) – Engenharia Mecatrônica – Av. Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho, Curitiba PR – CEP 80215-030 – e-mail: ibaza@hotmail.com.

### **Mariano Pacholok**

Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) - REPAR - e Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) – Engenharia Mecânica – Rodovia do Xisto, km 16 – Araucária PR – CEP 83700-970 – e-mail: marianop@uol.com.br.

**Abstract.** *Because of the cost reduction of the software and hardware, which made their access easier, nowadays companies usually have in their design environment computers as tool-software supporting the activities of the product, manufacturing, planning engineering. Consequently the engineering teaching process has been compelled to attend the market through the promotion of generical knowledge that can be used in the companies design sector. The diversification of the software offers requires rules that allow the integration among different systems. This paper approaches the use of a computer aided design methodology in the teaching/learning process in the Mechatronic Engineering undergraduate course where the design process is essential.*

**Keywords.** *Computer Aided Design, Design Standardization, Teaching Methodologies, Standardization.*