



## COMPARTILHANDO PROTOCOLOS: MÁQUINA CMM /CAD/CAM

JOÃO CARLOS PINHEIRO BECK, ISAAC NEWTON LIMA DA SILVA,  
ALEXANDRE BARONI, GILVER MAZIN DIAS

Institución Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS  
Av. Ipiranga 6681, 90619-900, Porto Alegre, RS, Brasil

*(Recibido 17 de noviembre de 2004, para publicación 15 de julio de 2007)*

**Resumo** – A meta desta contribuição é a descrição da metodologia utilizada para compartilhar um software comercial de CAD/CAM, orientado à indústria mecânica, com um equipamento industrial de controle de qualidade tridimensional (CMM). As etapas necessárias a esta integração são apresentadas, passo a passo, para facilitar o entendimento e a visualização progressiva de cada uma das fases de estudo e análise. Tomando-se como referência este compartilhamento, efetuouse, como aplicação do processo, a medição de uma peça de geometria complexa, apresentando-se o excelente resultado final obtido. O procedimento descrito pode ser empregado como técnica de engenharia reversa, CMM, CAD/CAM.

**Palabras-chave** – Engenharia Reversa, CMM, CAD/CAM.

### 1. BANCO DE DADOS E TAREFAS

O compartilhamento existente entre um software de projeto CAD, e um de fabricação CAM, é baseado na existência de um banco de dados em comum. Com isso o CAM consegue realizar a programação de fabricação, assim como, simular ferramentas e operações com base nas informações existentes no banco de dados comum referentes a peça desenvolvida a partir do CAD [3,7]. Por outro lado, acontece que as máquinas de medição a três coordenadas (CMM), não trabalham com banco de dados comum ao sistema CAD/CAM. Neste sentido é imperiosa a necessidade de um sistema auxiliar que efetue a comunicação entre o CAD/CAM e o equipamento CMM. Algumas tarefas do procedimento utilizado no projeto convencional, com quatro funções, realizáveis pelo sistema CAD, são as seguintes:

- Modelamento geométrico
- Análise de engenharia
- Revisão e avaliação do projeto
- Geração automática de desenhos.

Com a utilização de sistemas CAD, tornou-se uma tendência, em muitas empresas, usar modelos físicos customizados nos seus processos de projeto. Estes modelos funcionais, de acordo com solicitações e exigências específicas, podem surgir das necessidades individuais do próprio cliente. A prototipagem rápida e outros avanços na área de processamento de modelos foram desenvolvidos para dar suporte a essas atividades. Geralmente, quando o projeto final (aprovado) é obtido, as especificações customizadas da peça são refletidas no modelo e não nos desenhos iniciais, se eles já existirem. Assim, conceitos de projeto desenvolvidos durante a evolução do modelo vão sendo capturados fisicamente, mas não são incorporados de volta no processo de engenharia (processo de desenvolvimento do produto) Abella et al., 1994 [1].

Pode-se definir manufatura auxiliado por computador (Computer-Aided Manufacturing) CAM, como o auxílio, via computador, da preparação da manufatura, representando as tecnologias usadas no chão de fábrica, dizendo não só a respeito da automação da manufatura, como: CNC (Comando Numérico Computadorizado), CLP (Controle Lógico Programável), coletores de dados (DNC), como também, a tomada de decisão plano operacional (CAPP), inspeção via CMM, simulação de montagem, etc. [15]. Apesar de toda essa abrangência, o termo CAM, as vezes, ainda é sinônimo da programação CN, conceito que ficou

muito difundido com a sigla CAD/CAM, que representa módulos de programação CN em sistemas CAM. A abordagem principal do CAM, apresentada no trabalho, é dada em função da metodologia proposta no mesmo.

## 2. INSPEÇÃO E AMBIENTE

Comparando-se com as técnicas de inspeção manuais tradicionais, o benefício do uso da CMM é elevado e, notadamente, os tempos de inspeção são significativamente menores, podendo-se observar reduções de até 90%. Tais equipamentos podem ser usados para inspecionar peças incomuns, bem como, para inspeção de componentes antes e durante os processos de produção individuais [12]. Atualmente qualquer peça, ou componente mecânico, pode ter suas dimensões mensuradas através de uma CMM de maneira rápida e precisa [10], [4]. Sua capacidade de medição é muito ampla. Podem controlar dimensões lineares em uma ou duas direções, posições em três direções, alturas, rebaixos, superfícies cônicas e inclinadas, contornos ou perfis, desvios geométricos, posicionamento de furos e inter-relacionamento geométrico [6], [14].

Para dar uma idéia da evolução destas máquinas, as melhorias em seu projeto, nos materiais de construção utilizados e nas técnicas de isolamento, possibilitaram temperaturas de trabalho entre 0°C até 45°C, com índices de umidade relativa de até 95%, sem haver condensação. Estas evoluções possibilitaram que tais dispositivos pudessem ser posicionados até no chão de fábrica. No passado, sua localização natural era em uma sala com ambiente controlado [12].

## 3. INTERCÂMBIO E INTERFACES

A necessidade de integração de máquinas de concepções diferentes como a CMM, o torno e a fresa CNC, com sistemas CAD/CAM, surgiu com o propósito de agilizar e qualificar o projeto e a fabricação de novos componentes. Assim, tornou-se fundamental o estudo para a obtenção de algum tipo de padrão para realizar este intercâmbio, já que os diferentes sistemas a serem integrados não utilizam o mesmo banco de dados e, muitas vezes, nem sequer a mesma linguagem.

Também é importante considerar que, de maneira simplificada, pode-se dizer que a busca desses padrões de transferência de informações gráficas entre sistemas CAD diferentes objetiva que os diferentes sistemas conversem entre si [2].

A solução para a troca de informações gráficas entre diferentes sistemas pode ser realizada de duas formas distintas:

- Através de uma adequada interface, onde a troca de informações entre os dois sistemas necessita de dois programas específicos. Um programa que interprete os dados do primeiro para o segundo, e outro, que realize o procedimento no sentido inverso;
- Através de uma interface normalizada (formato padrão), que serve de arquivo neutro para a troca de informações. Com o auxílio dessa interface normalizada, todos os sistemas CAD podem montar seus arquivos neste formato através de programas que traduzem os dados de um determinado sistema para o arquivo neutro, que seria um pré-processador [13].

Neste trabalho utiliza-se o padrão IGES de intercâmbio de dados, já que ele é um dos sistemas utilizados pela CMM proposta para integração.

Um intercâmbio eficiente e preciso de desenhos criados em diversos sistemas CAD necessita de um padrão de intercâmbio de dados digitais. A IGES (Initial Graphics Exchange Specification) é uma especificação de dados que é de domínio público e que foi pretendido como um padrão internacional para o intercâmbio de informações entre sistemas CAD. O padrão IGES foi adotado pelo governo dos USA e outras corporações de grande porte, assim como, por seus parceiros mundiais [9].

Versões de entrada e saída de IGES podem não ser simétricas e se houver interesse na manutenção de desenhos (informações) que devem ser trocados entre os sistemas, por um período de tempo, deve-se estar familiarizado com os detalhes dos formatos dos padrões de troca [8].



Fig.1. Modelo atual.

O método utilizado para copiar, plagiar produtos a partir de um modelo pronto, se chama Engenharia Reversa. A Engenharia Reversa não é somente utilizada com estes fins, trata-se de uma ferramenta importante na indústria para realizar a manutenção em máquinas nas quais seus componentes já não são fabricados. Também auxilia na detecção de problemas de projeto ao realizar a desmontagem dos próprios produtos por equipes diferentes na fase de protótipo [5].

A integração CMM CAD/CAM é, atualmente, utilizada em larga escala pela indústria por ser um dos métodos mais rápidos e confiáveis de se copiar a forma de uma peça complexa. Através do escaneamento da superfície da peça gera-se uma série de curvas que, posteriormente, são transformadas em um modelo matemático da peça, tudo isso, com a ajuda de um processador, assim como, um padrão de comunicação. Com o modelo matemático criado em CAD, o CAM se incumbem de simular a fabricação, determinar a máquina, as ferramentas e o programa a ser utilizado na fabricação da mesma [11].

#### 4. DESENVOLVIMENTO E SOLUÇÕES

Na execução do presente trabalho fez-se utilização dos seguintes equipamentos: CMM e software CAD comercial, disponíveis na General Motors do Brasil (planta de Gravataí) e no Departamento de Engenharia Mecânica/Mecatrônica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. A metodologia que será apresentada destina-se a integração de uma máquina CMM-3D com um software de CAD/CAM comercial, objetivando a realização de medições de peças de geometria complexa e variável com elevada precisão, rapidez e confiabilidade.

O trabalho tem como ponto de partida a escolha de uma peça de geometria complexa e difícil de ser mensurada com acurácia, rapidez e confiabilidade pelos métodos convencionais. A peça escolhida, devido a suas características próprias, foi o inserto da lanterna de um automóvel. Esta peça é conhecida com o nome de “banjo” no chão de fábrica. A peça real (no caso o banjo) foi retirada da produção com a finalidade de realizarem-se as medições. A peça foi fixada a um desempenho, tomando-se o cuidado de, convenientemente, fixá-la, assim como a CMM 3D FARO. Na Fig. 1, a seguir, mostram-se os dispositivos utilizados durante o procedimento.

Após a escolha da peça foi necessário obter o seu desenho geométrico virtual (no caso em questão este modelo sólido CAD-3D foi gerado no software de CAD/CAM da Unigraphics<sup>®</sup>), para gerar tais modelos em formato UG, conhecido como “modelo matemático”, na fábrica.

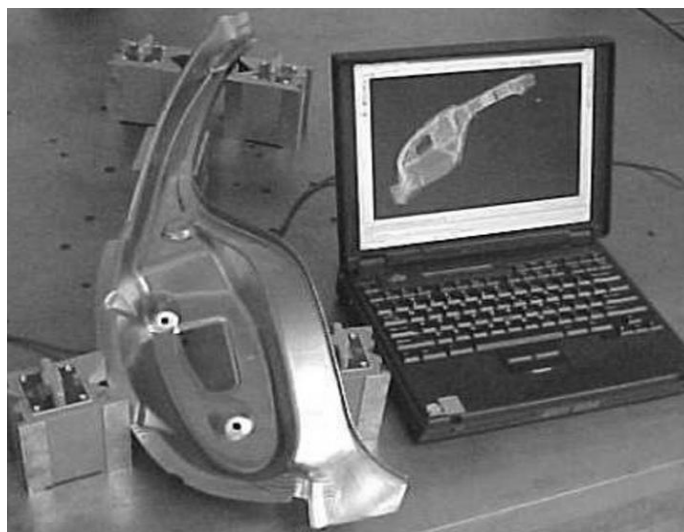


Fig. 2. Modelo Atual.

Foi necessário efetuar-se conversões de arquivos devido ao fato de que a máquina CMM 3D utilizada para realizar as medições trabalha com um software de CAD CAM2 Measure que tem como característica não trabalhar com arquivos em formato UG. Como o “modelo matemático” é em formato UG, é necessário convertê-lo para o formato IGES, formato entendido pela CMM 3D FARO. Para realizar tal tarefa foi utilizado o próprio CAD 3D da Unigraphics obtendo-se, assim, o arquivo em formato IGES.

O arquivo do “modelo matemático” em formato IGES foi aberto na estação gráfica da CMM 3D FARO, que utiliza o software CAM2 Measure sob ambiente Microsoft Windows (NT 4.0, 2000, XP), que converte o arquivo para o formato DWG, para que se possa trabalhar na estação gráfica, pois, a mesma entende o arquivo em formato IGES, mas, não trabalha com ele. A estação gráfica foi um computador portátil (Laptop) que foi conectado a CMM 3D FARO pela porta serial, como se mostra na Fig. 2 a seguir.

## 5. AS TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

Completadas todas as etapas anteriores obteve-se o seguinte cenário:

- A CMM 3D FARO fixada junto à peça real, em um desempenho, formando um sistema de coordenadas com ponto de origem na própria CMM 3D;
- O arquivo geométrico virtual (modelo matemático) da mesma peça real na estação gráfica em um outro sistema de coordenadas;

Para realizar as medições utilizando a CMM 3D FARO e a estação gráfica teve-se que trabalhar com o mesmo sistema de coordenadas. Com a utilização da estação gráfica da CMM 3D FARO, definiram-se 3 círculos no “modelo matemático”, a partir de círculos pré-existentes no mesmo. Os círculos utilizados foram os dois furos de fixação da lanterna traseira e um furo de fixação do amortecedor da tampa traseira. Utilizando a CMM 3D FARO determinaram-se os mesmos 3 círculos na peça real. Definidos os 3 círculos na peça real e os 3 círculos do “modelo matemático”, realizou-se o alinhamento dos modelos: real (peça) e virtual (desenho CAD). Após o alinhamento estar realizado passou-se a trabalhar com o mesmo sistema de coordenadas entre o “modelo matemático” e a peça real.

Para realizar a medição da peça, foi necessário manusear a CMM 3D FARO, posicionando a ponteira de rubi sintético do FaroArm no ponto a ser medido na peça real e clicando-se nos botões do FaroArm para capturar o ponto medido. Na estação gráfica pôde-se verificar a posição do ponto medido em x, y e z, sua medida nominal e o desvio. Todos os dados foram obtidos através da comparação entre a “peça real”

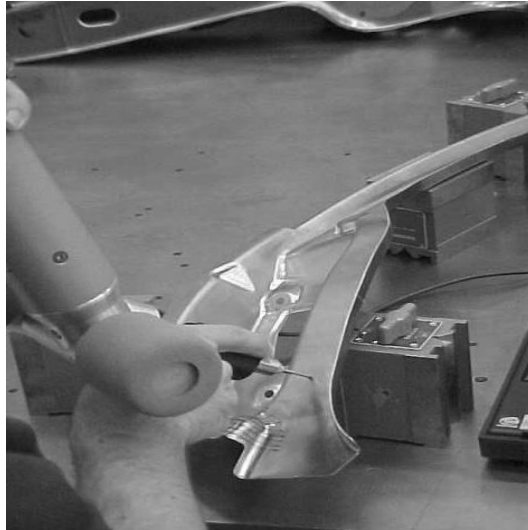


Fig. 3. Modelo Atual.

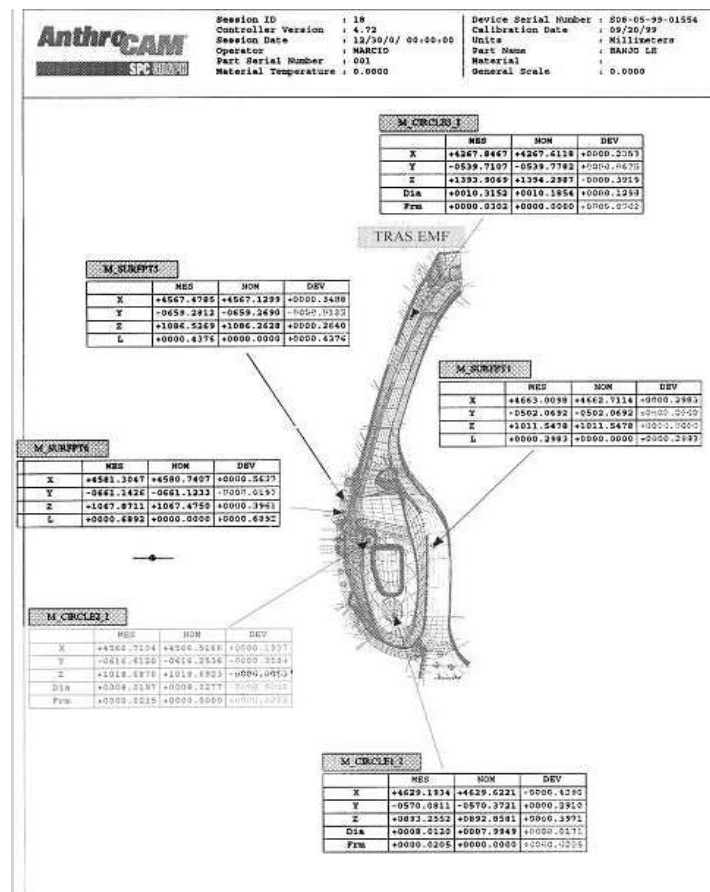


Fig. 4. Modelo Atual.

medida e o “modelo matemático”, no mesmo sistema de coordenadas, obtido após o alinhamento entre ambos. Esta comparação foi realizada automaticamente pelo CAM2 Measure que procurou o ponto mais próximo do recurso nominal e o associou. Tendo a necessidade da medição e de seus resultados, pôde-se confeccionar um relatório de medição, apresentando os resultados de cada ponto. Na Fig. 3 mostram-se os procedimentos experimentais, e na Fig. 4 o relatório obtido.

## 6. TÉCNICAS DE DIGITAÇÃO DE SUPERFÍCIE

Para explorar mais as características da ferramenta, foi realizado o escaneamento do “banjo” real utilizando a metodologia de polilinhas paralelas, que são segmentos de reta unidos por dois pontos. Cada polilinha descreve a forma da superfície da peça em uma determinada seção. O escaneamento foi realizado com a criação de um plano com a CMM 3D FARO. A partir deste plano foram criados “n” planos paralelos ao plano de origem, sempre com a ponteira da CMM 3D FARO em contato com a peça. A varredura se deu ao longo dos planos paralelos, então criados. Toda vez que se cruzava um destes planos, foram coletados pontos, que, posteriormente, mediante um conjunto deles, formaram polilinhas paralelas. Para aceitar os pontos coletados devia-se clicar o botão que confirma os pontos na CMM 3D (FARO), com a ponteira ainda na peça. As polilinhas foram formadas com a união dos pontos coletados em cada plano paralelo. Ao final do escaneamento teve-se uma boa idéia da forma da peça, conforme figura. Outra metodologia de escaneamento utilizada foi a obtenção de uma nuvem de pontos, onde o escaneamento é realizado a partir da criação de um plano com a CMM 3D, conforme feito com polilinhas, porém, ao final do processo, os pontos não são unidos e não houve como verificar com clareza a forma da peça.

O arquivo gerado pelo escaneamento via polilinhas e via nuvem de pontos é em formato DWG (formato de propriedade da Mechanical Desktop). Como o software de CAD/CAM Pro/Engineer não entende este formato, foi necessário converter o arquivo de DWG para o formato DXF (formato aberto, ou seja de domínio público, podendo ser alterado e distribuído por qualquer empresa), com intuito de trabalhar com os arquivos escaneados e chegar, ao final, com a criação de um modelo sólido, em CAD, para aplicação em Engenharia Reversa.

## 7. CONCLUSÃO

Através do desenvolvimento deste trabalho, obtiveram-se muitas informações sobre o compartilhamento de máquinas CMM com sistemas CAD/CAM, que podem servir como referência para outros protocolos. O compartilhamento proposto, com o objetivo de realizar a medição de uma peça de geometria complexa, com a máxima rapidez e confiabilidade, foi concluído com sucesso. Apresentou-se, passo a passo, cada etapa a ser seguida no compartilhamento CMM CAD/CAM, o que pode contribuir para aqueles que possuam ambiente operacional similar ao proposto e que tenham a necessidade de utilizar tal técnica, tanto de forma eventual quanto freqüente. O relatório obtido, das medições efetuadas, foi bastante satisfatório, contendo informações importantes e suficientes para um bom entendimento dos procedimentos adotados, assim como, para realização de uma análise dimensional mais profunda. A confecção do relatório, que apresenta o desenho da peça medida e a posição dos pontos medidos com seu resultado, se deu devido aos recursos oferecidos pelo software CAM2 Measure e aos resultados obtidos com rapidez e ótima precisão pela CMM 3D FARO.

## REFERÊNCIAS

- [1] Abella, R.J., Dashbach, J.M., McNichols, R.J., “Reverse engineering and industrial applications”, *Computer and Industrial Engineering*, **26** (2), 381–385 (1994)
- [2] Aguiar, A.F.S., “Sistemática de seleção de sistemas computacionais para auxílio às atividades de engenharia”, Dissertação mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (1995)
- [3] Besant, C.B., *CAD/CAM -Projeto e fabricação com o auxílio do computador*, Ed. Campus (1995)
- [4] Cardoza, J.A.S., “Máquinas virtuais de medir a três coordenadas”, Tesis Doctoral, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (1995)
- [5] Feng, C.X., Pandey, V., “Experimental study of the effect of digitizing uncertainty with a CMM”, *International Journal of Production Research*, **40**(3), 683–697 (2002)
- [6] Gonzales, E.V., “Integración máquina de mediciones de tres coordenadas com sistema CAD/CAM”, Universidad de Concepción, Chile, 309-316 (1995)
- [7] [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/cadv2.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/cadv2.html) acessado junho de 2004

- [8] AUTODESK INC. AutoCAD Release 11: Iges interface specifications. Autodesk, Inc. <http://www.autodesk.com/>, acessado novembro de 2003
- [9] AUTODESK INC. Autodesk iges traslator. <http://www.autodesk.com/prodsol/mech/products/dataexc> acessado novembro de 2003
- [10] Kwok, W.L., Eagle, P. J., “Reverse engineering. Extracting CAD data from existing parts”, *Mechanical Engineering*, **113**(3), 52–55 (1991)
- [11] Lee, A.C., Chen, D.P., Lin C. L., “A CAD/CAM system from 3D coordinate measuring data”, *International Journal of Production Research*, **28**(12), 2353–2371 (1990)
- [12] Legge, D.I., “Integration of design and inspection systems -a literature review.” *International Journal of Production Research*, **34**(5), 1221-1242 (1996)
- [13] Módulo, D.L., “Desenvolvimento de um ambiente de planejamento do processo assistido por computador para planejamento interativo”, Dissertação mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (1991)
- [14] Miguel, P.A.C., “Fontes de erros critérios gerais de ensaios em máquinas de medir por coordenadas”, *Revista Ciência e Tecnologia*, **5**(10), 7–20 (1996)
- [15] [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/cam.htm](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/cam.htm) acessado junho de 2004

### PROTOCOLS SHARING: CMM/CAD/CAM MACHINE

**Abstract** – The objective of this work is to contribute to the discussion about the methodology utilized to integrate commercial CAD/CAM software oriented to mechanical industry with industrial equipment for tridimensional quality control (CMM -Computerized Measuring Machine). The steps need for this integration are presented sequentially noway to ease the understanding by the reader. A case-study of a complex geometry car part measurement implemented with the shown methodology is discussed together with the encouraging results. The described procedure can be employed as a reverse engineering technique.

**Keywords** – Reverse Engineering, CMM, CAD/CAM.

