

# DESENVOLVIMENTO DE UM BANCO DE DADOS DE TOLERÂNCIAS VISANDO A INTEGRAÇÃO COM UM SISTEMA “CAD”

*Nilson Luiz Maziero, João Carlos E. Ferreira e Éverton Gubert*

Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Mecânica  
GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476  
88040-900, Florianópolis, SC

## Abstract

This paper describes a methodology used for organizing and maintaining a tolerance database, and its integration to a CAD system. The information search can be carried out by the user either through the CAD system or independently, and he/she has the following options : (i) from examples of couplings applications, (ii) from the specification of fit and precision of the coupling; and (iii) as a function of the specific components. The retrieved information can be automatically transferred to the graphical representation of the CAD software.

## Keywords

Tolerances, CAD/CAM, Design for Manufacturing and Assembly

## 1. INTRODUÇÃO

As grandes transformações que a manufatura mundial tem sofrido nos últimos anos tem obrigado as indústrias a agilizarem seus processos, desde o projeto, fabricação, inspeção e montagem.

Esta transformação tem sido motivada pelas novas tecnologias que têm surgido, principalmente na área de informática, que com a facilidade que esta propicia ao manuseio de informações, tem possibilitado uma revolução. Isto ocorreu inicialmente com simples informações alfanuméricas, em seguida com o surgimento dos sistemas CAD, e hoje exigem-se sistemas CAD cada vez mais robustos e completos.

Um dos maiores problemas da indústria é o projeto do produto, e este deve estar cercado de todas as medidas que possibilitem o menor número de erros. Para manter a consistência das informações no ciclo produtivo, o produto deve ser concebido e detalhado com informações adequadas. Uma das chaves para esta agilidade é a informação necessária para o projeto, que precisa estar disponível ao usuário no momento exato de forma adequada e atualizada.

No ciclo produtivo, muitos problemas relativos ao projeto do produto somente vão ser descobertos na fabricação, e estes problemas vão desde a concepção até problemas exclusivos de fabricação, como a obtenção de peças com as dimensões adequadas para a montagem e que mantenham a funcionalidade do produto.

Como causas da dificuldade em obter peças com as dimensões desejadas incluem-se o desgaste da ferramenta, máquinas com desgaste e folgas excessivos, instrumentos de medição com erros, métodos de medição e fabricação incorretos e uma série de outros fatores.

Por estes motivos é necessário o uso de tolerâncias, sendo as mesmas escolhidas para cada par de peças a ser acoplado de modo a ser compatível com a função desejada no produto.

Para Zhang (1992), a especificação de tolerâncias nas dimensões de uma peça a ser fabricada tem um impacto significativo nos custos finais de produção. Tolerâncias muito estreitas podem resultar num aumento de custos do processo, enquanto tolerâncias largas podem aumentar o desperdício e problemas de montagem.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para Weill et al. (1988), o projetista tem que observar um certo número de normas e regras técnicas relativas às tolerâncias geométricas e dimensionais, as quais são necessárias para produzir um projeto que não deve somente ser consistente com a função da peça, mas também com as restrições de manufatura, limitações de montagem e inspeção. Estas condições mais tarde determinam essencialmente a economia da indústria na fabricação das peças.

A questão do tratamento de tolerâncias tem sido investigado com muita atenção nos últimos anos, onde a quantidade de publicações nesta área tem sido farta, tanto do ponto de vista de modelos de representação de tolerâncias para sistemas CAD como a nível de análise e síntese de tolerâncias.

No sistema TVCAPP (Abdou, 1993), as tolerâncias são divididas em duas áreas básicas: tolerâncias de projeto, onde as tolerâncias são definidas no estágio de projeto para diminuir os custos de manufatura; e tolerâncias de controle, que representam a garantia de existirem máquinas e ferramentas para produzir a peça dentro das tolerâncias especificadas.

Um dos aspectos que têm sido tratado constantemente é quanto à análise da cadeia de tolerâncias, tendo por base a análise da carta de tolerâncias, onde este caminho é utilizado para checar a possibilidade da obtenção das dimensões resultantes em função dos processos a serem aplicados.

Dentro desta linha, o CATC (Ahluwalia e Karolin, em Zhang, 1992) é um software desenvolvido para análise de cadeia de tolerâncias, o qual funciona independentemente de um sistema CAD, sendo que o mesmo apenas automatiza o procedimento de análise descrito por Zhang (1992).

O CADP (Tang e Davis, em Zhang, 1992) é um software de planejamento dimensional que pode ser utilizado para melhorar a eficiência dimensional, ajustar as tolerâncias economicamente e racionalizar as tolerâncias para cada operação do processo de fabricação. Este sistema pode ser incorporado a um sistema CAD/CAM.

Faingmelermt et al. (Zhang, 1992), desenvolveram um software para dimensionamento e tolerâncias utilizado em microcomputadores, onde analisa as categorias de tolerâncias relevantes à manufatura como tolerâncias de posição, tolerâncias de usinagem e propõem estratégias para otimizar as tolerâncias em relação aos requisitos funcionais e capacidade dos equipamentos. O programa é utilizado pelo processista quando da escolha do melhor plano de processos.

Kusiak (1995), apresenta um estudo comparativo entre determinação de cadeias de tolerâncias utilizando métodos determinísticos, buscando otimizar a determinação das tolerâncias para redução de custos nos processos de fabricação.

Outros como Requicha (1980), (1983), Hillyard (1978), trabalham em termos de formas de representação das tolerâncias em modeladores de sólidos, ou outros tipos de modeladores com o objetivo de obter uma representação adequada das tolerâncias num sistema computacional.

Weill et al. (1988), propõe a implementação do uso de tolerâncias por função, onde as tolerâncias são o suporte para o projeto, manufatura, inspeção e montagem, abrangendo todo o processo de manufatura. Por função é generalizada a aptidão para montagem de peças, mas

também, em muitos casos, aptidão para o funcionamento de um sistema mecânico, o qual é dependente de pequenas forças de atrito, precisão geométrica, exatidão cinemática, e assim por diante.

Contudo, o uso de tolerâncias por função implica no desenvolvimento de um sistema de tolerâncias que necessita dos seguintes dados :

- dimensões da peça;
- geometria da peça;
- requisitos funcionais;
- requisitos de montagem;
- requisitos de manufatura;
- requisitos de inspeção.

O principal problema com tolerâncias por função é, obviamente, a falta de conhecimento referente às relações entre a função e as folgas, acabamento e função, forma geométrica e função (Weill, 1988).

### 3. MODELO PROPOSTO

Baseado no conceito de escolher tolerâncias pela função, propõe-se um banco de dados para tolerâncias, ajustes e aplicações características, isto integrado a um sistema CAD de modo a ser acessível ao usuário. O objetivo é obter e organizar as informações existentes tanto na literatura como aquelas obtidas pelo uso na empresa, e então cadastrá-las no computador, tornando-as disponíveis ao usuário.

Desta forma, tem-se um ponto de partida para a inserção de tolerâncias num projeto, e a partir daí pode-se então buscar a otimização das mesmas. As informações devem inicialmente representar a funcionalidade do produto, para após verificar-se quanto à manufatura, a qual não é abordada neste trabalho.

No banco de dados proposto, as informações disponíveis são : afastamentos superior e inferior em função do tipo de ajuste e qualidade de trabalho (dados constantes das normas), classificadas de acordo com os diâmetros. Como exemplo de aplicação que são relacionados com o par de acoplamento escolhido, tem-se H7/k6, embuchamento de rodas.

A escolha das tolerâncias é feita de forma iterativa, onde o usuário informa as condições e o sistema responde através dos dados necessários à especificação do par de acoplamento, ou seja, tolerância, ajuste e qualidade de trabalho. Estas informações podem ser incorporadas aos componentes projetados no sistema CAD (no caso um "CAD by features"), ou apenas para visualizar a informação, como por exemplo saber quais são os afastamentos, tolerâncias de cada peça, ou as folgas relativas ao acoplamento escolhido.

Com a incorporação destas informações ao modelo do produto, estes dados são submetidos a um sistema especialista para a avaliação da consistência frente a várias considerações tanto de projeto, fabricação, inspeção e montagem. Se ocorrer alguma contradição a estas regras o sistema alertará o usuário/projetista com informações quanto ao erro e possíveis soluções a serem adotadas.

A consulta poderá ser realizada pelo projetista, quando da utilização do dimensionamento manual ou se ele/ela desejar alguma informação independentemente.

Esta consulta também pode ser feita automaticamente pelo sistema quando do uso da função de análise da montagem, função esta implementada no sistema CAD. Quando esta função identifica que duas peças estão montadas, o banco de dados é pesquisado, e o projetista é solicitado a introduzir informações pela interface do banco de dados no CAD. Tais informações incluem o tipo de ajuste, precisão ou através de exemplos de aplicação, que servem de referência para a busca de um par de montagem adequado.

Para organizar as informações, a estrutura do banco de dados baseou-se na literatura existente, de onde obteve-se uma classificação dos ajustes e precisão, bem como exemplos de aplicação, o que auxiliou a montagem das tabelas para o banco de dados (ver tabela 1) (tabela baseada em Pugliesi (1986) e Novaski (1994) ).

Tabela 1 : Tabela Básica Contendo os Tipos de Acoplamentos e as Diferentes Exigências de Precisão

ajuste	exemplo de ajuste	extra preciso	preciso	media precisao	comum	CARACTERIZACAO E EXEMPLOS DE APLICACAO
folga rotativo forte		H6g5	H7d9	H8d10	H11a11	utilizam-se em pecas que devam ter uma ampla folga. Mancais de turbo-geradores, casos especiais
folga rotativo livre			H7e8			Pecas que devam ter folgas bastante perceptíveis. fusos de tornos em suportes.
folga rotativo			H7f7			pecas que necessitam folga perceptível mancal principal em furadeiras e tornos
folga semi-rotativo			H7g6	H8f8 H8f9	H11d11	pecas que devam ter folga bastante minima engrenagens deslizantes em caixas de cambio
folga leve		H6h5	H7h6	H8h8 H8h9		pecas que bem lubrificadas pode-se monta-las e desmonta-las com a maõ. aneis distanciadores, colunas moveis de furadeiras
incerto leve		H6i5(i.l.)	H7j6(i.l.)			pecas a acoplar e desacoplar a maõ ou golpe com martelo de borracha. Anéis internos de rolamentos de esfera para pequenas cargas e aneis externos de rolamentos fixados nas carcaças
incerto forte		H6k5(i.f.)	H7k6(i.f.)			acoplamento fixo e desmontagem pouco frequente podendo desacoplar-se a golpe de martelo comum o movimento de rotacao e assegurado por chaveta. Embuchamento de rodas, rotores de turbinas e bombas centrifugas.
interferencia leve		H6m5				acoplamento fixo que so pode se descolar a golpe de martelo pesado; o movimento de rotacao e assegurado por chaveta. Anéis internos de rolamentos montados em eixos cargas normais.
interferencia forte		H6n5	H7n6			pecas que devam ficar solidamente acopladas, por acoplar ou desacoplar mediante pressao. Movimento rotacao garantido por chaveta. Eixos de motores eletricos
interferencia prensado			H7n6			pecas de ajuste permanente unidas com muita pressao. Eixo de saida de redutor de ponte rolante de empresa siderurgica, acoplado a engrenagem.

Outras tabelas que estão inseridas no banco de dados correspondem a informações referentes a ajustes e tolerâncias definidas em normas. A partir da escolha dos pares de acoplamento, o sistema busca nas tabelas normalizadas os referidos afastamentos, superior e inferior.

A funcionalidade depende do conhecimento da aplicação, à qual estão relacionados os pares de acoplamentos conhecidos, ou seja, que tipo de ajustes, precisão e tolerâncias devem ser utilizados para que as duas peças acopladas funcionem adequadamente, também suprimindo as necessidades do produto, de forma econômica e de simples fabricação.

Estas informações cadastradas relacionando a aplicação são frutos da experiência e pesquisa. As informações são então transmitidas para a fabricação através das tolerâncias dimensionais e geométricas,

sendo abordadas no presente trabalho e somente as tolerâncias dimensionais.

A determinação das tolerâncias e ajustes deve ser feita de duas formas: primeiramente com relação aos diâmetros, e após na direção longitudinal das peças rotacionais, sendo que este último item não foi abordado no presente trabalho

Na determinação dos ajustes e tolerâncias, o projetista terá três opções de escolha :

1) A partir do conhecimento do diâmetro nominal de montagem, pesquisa-se no banco de dados exemplos de aplicação de acoplamentos, como por exemplo, o acoplamento eixo/engrenagem. De posse destes dados, o sistema retorna o par de ajustes e tolerâncias recomendados, os respectivos afastamentos para o eixo e furo, informando também a qualidade de trabalho, bem como a folga ou interferência.

2) Também a partir do conhecimento do diâmetro nominal de montagem, o projetista especifica o ajuste e a precisão do acoplamento, e o sistema retorna o par de montagem (p. ex. ajuste folga rotativo e precisão como extra preciso), os respectivos afastamentos e tolerâncias, relacionando com o eixo e com o furo. Do mesmo modo pode-se obter a informação de exemplos de aplicações que utilizam este par de montagem, e a folga ou interferência.

3) O terceiro modo está diretamente relacionado ao componente utilizado, como por exemplo a aplicação de um rolamento, onde existem uma série de informações do fabricante, e que a partir do tipo de montagem do respectivo componente, as tolerâncias, ajustes e qualidade de trabalho são informadas. Neste caso a pesquisa da informação tanto pode ser a partir do diâmetro nominal do eixo ou do furo, dependendo de como é montado o componente.

Enquanto nos dois primeiros casos a pesquisa é genérica, a partir de informações subjetivas procurando moldar o problema a um exemplo já existente, no último a pesquisa é diretamente em função do produto.

## 4. IMPLEMENTAÇÃO

### 4.1 Suporte

A implementação realizou-se utilizando os seguintes softwares :

- DELPHI versão 2.0 - banco de dados;
- AutoCAD versão 12 for Windows - software de CAD;
- Borland C++ versão 4.5 - software de programação.

Utilizou-se para isto microcomputadores com configuração mínima, 486 DX2, 66MHz e 8MB de RAM, e como ambiente operacional "WINDOWS" 3.11.

A comunicação entre o banco de dados e o sistema CAD é feita com a utilização de DLL's.

### 4.2 Exemplos da Implementação

A implementação foi dividida em módulos de acordo com o tipo de abordagem como definida anteriormente. Assim temos mais explicitamente :

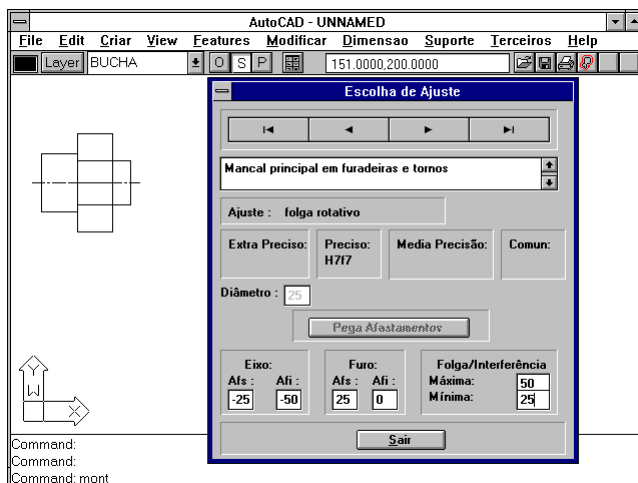


Figura 1 - Tolerâncias por aplicação

**caso 1 :** Através de exemplos de aplicações conhecidas de pares de acoplamento, são escolhidos aqueles que mais se assemelham ao caso em estudo. Assim escolhe-se a aplicação, e informa-se o diâmetro nominal (que dependendo do tipo de consulta é automaticamente feito pelo sistema CAD). O sistema retorna o par de ajustes, a qualidade de trabalho, as tolerâncias e os afastamentos para a dimensão nominal. Informa também quanto a folga ou interferência. Os afastamentos são pesquisados no banco de dados específico.

Na figura 1 está representada a interface com o banco de dados via CAD. Na janela superior está o exemplo escolhido, e abaixo estão representadas as características do referido acoplamento. Ao sair da aplicação, neste caso, as informações serão transferidas para a estrutura do "CAD by Features".

As informações representadas na janela devem servir de base para a decisão do projetista, que deve escolher apoiado em seu conhecimento.

**caso2 :** Quando a procura se faz pelos ajustes, além da escolha deste, também é necessário especificar a precisão (figura 2), de onde resulta os pares de ajuste recomendados, bem como exemplos de aplicação podem ser vistos para reforçar a decisão.

Na figura 2 está representada a caracterização do ajuste escolhido, o que serve de auxílio ao projetista para definir melhor o problema. No caso o ajuste escolhido é Folga Rotativo Forte. Do mesmo modo na figura 3, pode-se ver a caracterização da precisão escolhida, que no caso é Extra Preciso.

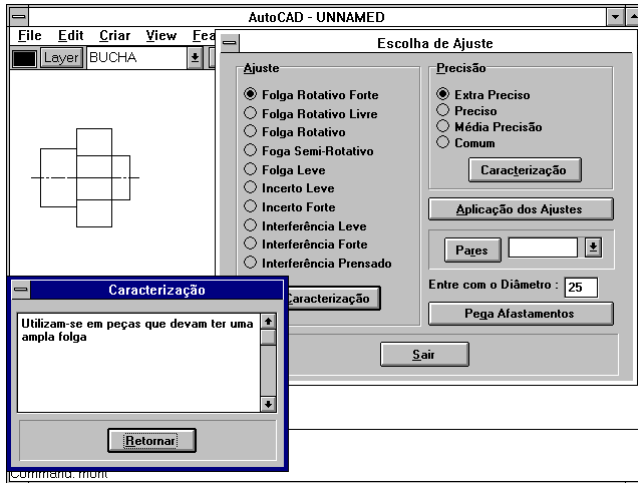


Figura 2 - Caracterização do ajuste

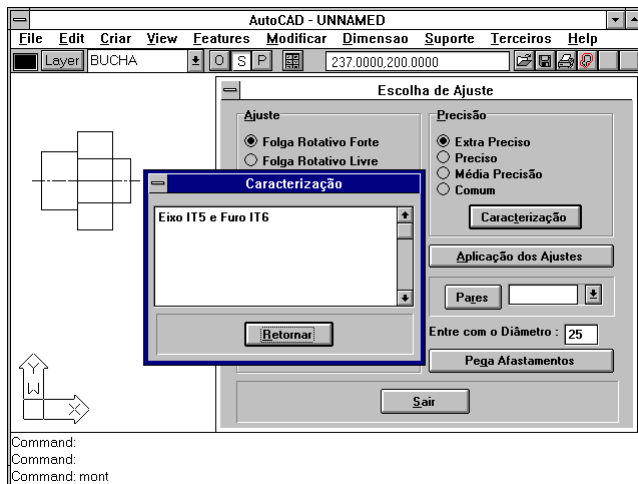


Figura 3 - Caracterização da precisão

Com a escolha do ajuste e precisão, pode-se verificar os tipos de aplicações em que são usados (figura 4).

Na figura 5 pode-se observar que o par de acoplamento já foi escolhido, o que é feito clicando em Pares, o que resulta numa série de pares que podem ser utilizados. Também o diâmetro está especificado e basta utilizar Pega Afastamentos para termos as informações finais. Quando da utilização da função de análise da montagem, o diâmetro é indicado pelo sistema.

Lembrar que o diâmetro nominal a ser tolerado deve ser especificado (figura 5), para que o sistema possa retornar os referidos afastamentos.

Ainda na figura 5, pode-se observar na janela à esquerda o resultado da respectiva consulta.

**caso 3 :** Este é o mais simples, pois considera aquelas peças fornecidas por terceiros, que já possuem dimensões toleradas, e o sistema deve simplesmente identificar a peça e buscar automaticamente na tabela referente ao produto qual das tolerâncias a ser utilizada em função de determinadas informações específicas que o sistema deve conhecer.

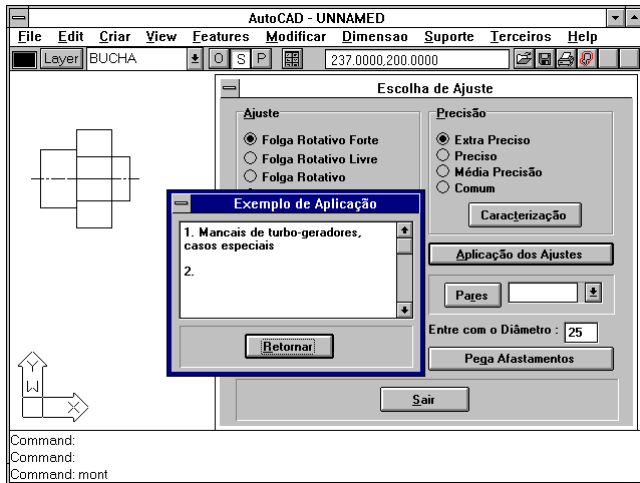


Figura 4 - Exemplos de aplicação

Este caso é de simples uso, entretanto sua modelagem se torna mais complexa pois para cada componente (p. ex. rolamentos) deve ser gerado um banco de dados específico, inclusive com interface adequada para receber as informações específicas do componente.

Para peças padronizadas e fornecidas por terceiros como rolamentos, pinos, anéis, etc, as informações deverão estar armazenadas num banco de dados para a consulta, sendo as informações de responsabilidade do fabricante.

Quando da especificação das tolerâncias e ajustes automaticamente, o sistema segue a sequência de conexão entre as peças a serem montadas, facilitando assim o entendimento do conjunto. Também deve ser iniciado pelas peças onde as tolerâncias e ajustes são conhecidos, que é o caso das peças padronizadas.

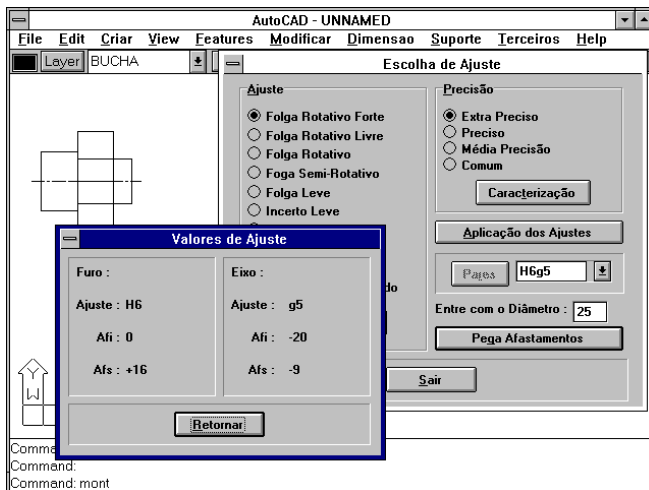


Figura 5 - Informações resultantes

## 5. CONCLUSÕES

Do ponto de vista do modelo proposto e implementado, há vantagens no uso integrado com um sistema de CAD. A facilidade de escolher tolerâncias através das aplicações se revelou de fácil manuseio, inclusive possibilitou a passagem diretamente para as cotas no desenho, sem a necessidade de intervenção do usuário. Outra facilidade é que através da interface do banco de dados podem ser introduzidas novas informações como a experiência oriunda da empresa. Com o manuseio das informações do banco de dados, pode-se conseguir melhorar as informações a serem apresentadas ao usuário, como a verificação das folgas ou interferências. A implementação do banco de dados específico para um produto, como foi o caso de rolamentos, foi trabalhosa, pois pouca coisa que tinha sido implementada anteriormente pôde ser utilizada, a não ser as informações de ajustes e

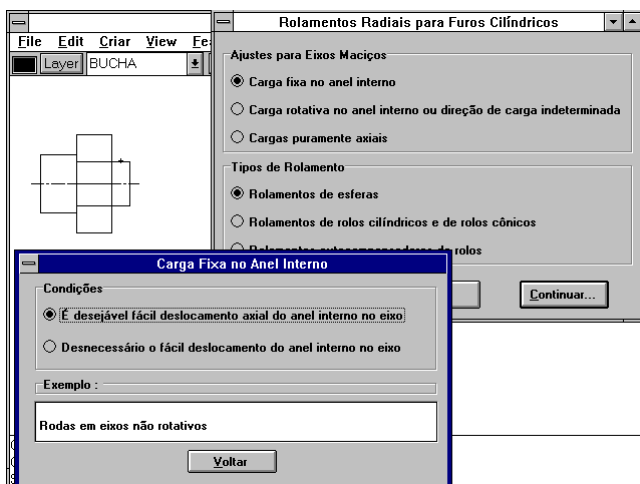


Figura 6 - Escolha de tolerâncias pelo produto

tolerâncias oriundas das normas que já estavam cadastradas. A interface entre o banco de dados e o sistema CAD (AutoCAD) via DLL's se mostrou suficiente e robusta para este tipo de aplicação, tendo sido utilizada a execução das DLL's em tempo de execução, isto é, não fazem parte do programa executável. Outro fato, é que a utilização da programação do software AutoCAD com a utilização da linguagem C++, torna o sistema mais robusto e atrativo, com relação ao AUTOLISP, para o desenvolvimento de sistemas maiores integrados com o CAD.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOU, G., CHANG, R. TVCAPP, tolerance verification in computer-aided process planning. *INT. J. PROD. RES.*, VOL. 31, No. 2, pp. 393-411, 1993.

HILLYARD, R.C. and BRAID, I.C. Analysis of dimensions and tolerances in computer-aided mechanical design. *Computer-aided Design*, VOL. 10, No. 3, pp. 161-166, 1978.

KUSIAK, Andrew, FENG, Chang-Xeu. Deterministic tolerance synthesis : a comparative study. *Computer-Aided Design*, Vol. 27, No. 10, pp. 759-768, 1995.

NOVASKI, Olívio. *INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO MECÂNICA*. Editora Edgar Blücher LTDA, 1994.

PUGLIESI, Marcio. *desenho mecânico e de máquinas*. por Marcio Pugliesi [e] Diamantino F. Trindade. São Paulo, Ícone Editora Ltda, 1986.

REQUICHA, Aristides A.G. Representations For Rigid Solids : Theory, Methods, and Systems. *Computing Surveys*, VOL. 12, No 4, pp. 437-464, 1980.

REQUICHA, Aristides A.G. Toward a Theory of Geometric Tolerancing. *The International Journal of Robotics Research*, VOL. 2, No. 4, pp. 45-60, 1983.

WEILL, R., CLÉMENT, A., HOCKEN, R., FARMER, L.E., GLADMAN, C.A., WIRTZ, A., BOURDET, P., FRECKLETON, J.E., KUNZMANN, H., HAM, I., TRUMPOLD, H., MATHIAS, E. Tolerancing for Function , *Annals of the CIRP*, VOL. 37/2, pp. 603-610, 1988.

ZHANG, H.C., HUQ, M.E. Tolerancing techniques : the state-of-the-art. *INT. J. PROD. RES.*, VOL. 30, No 9, pp. 2111-2135, 1992.