

# **Estudo da Aplicabilidade de Medição por Coordenadas em Grandes Ambientes com GPS “Indoor” em Processo de Alinhamento e Nivelamento de Fuselagem Aeronáutica.**

## **Fábio Sawada Cutrim**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, SP – Brasil  
fabiosawada@gmail.com  
Bolsista PIBIC – CNPq

## **Ricardo Suterio**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas  
CEP 12228-901 - São José dos Campos, SP – Brasil  
suterio@ita.br

## **Jacson Machado Nunes**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias  
CEP 12228-901 - São José dos Campos, SP – Brasil  
jacson@ita.br

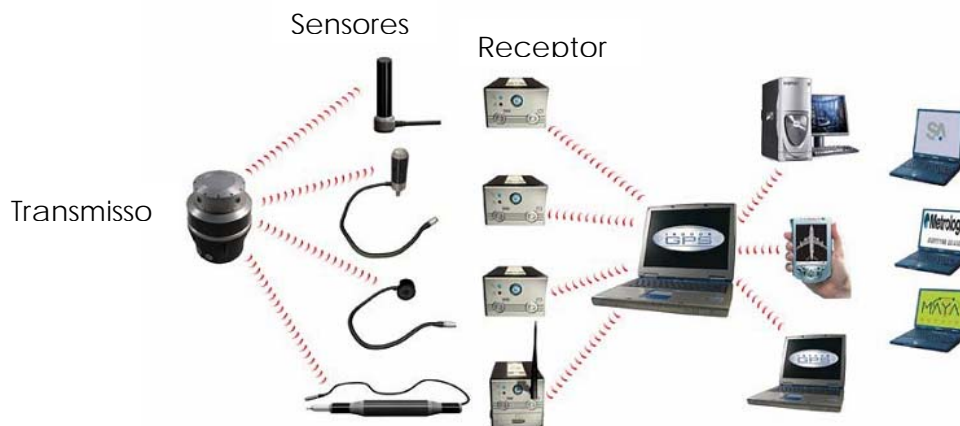
***Resumo:** Neste trabalho, inicialmente estudou-se uma nova tecnologia na área de metrologia, o iGPS, o qual seria utilizado no processo de nivelamento e alinhamento de fuselagens aeronáuticas de uma empresa do setor. O objetivo era automatizar o processo que hoje é feito manualmente. Porém, após análise de custos esta atividade tornou-se inviável economicamente, ocasionando em uma mudança mandatória da linha de pesquisa inicial. Sendo assim, o novo foco do trabalho foi avaliar o erro de forma, tais como circularidade e concentricidade, oriundo da usinagem da peça teste cilíndrica, objetivando também aprender a operar um software de programação de torneamento.*

*Palavras chave:* circularidade, iGPS, usinagem, torneamento.

## **1. Introdução**

Indoor GPS consiste num recente sistema de medição metrológico que se utiliza dos mesmos princípios de funcionamento do GPS, porém, em um volume de medição menor. Ele é composto por: um conjunto de laser transmissores posicionados em volta do objeto a ser medido, sensores que captam os sinais originados nesses transmissores, um receptor que recebe os sinais dos sensores e calcula a linha expressa na área de trabalho como intervalos, ângulos de elevação e azimute para o transmissor apropriado e, por último, um software que calcula os ângulos e posições baseados no tempo de chegada dos pulsos de laser que atingem os sensores e assim calcula a posição 3D de cada sensor dentro do ambiente metrológico (User’s Guide of Indoor GPS, Version 6.0). A Fig. 1 mostra uma visão geral do sistema. O indoor GPS tem sido muito utilizado em empresas de manufatura para realizar medições em larga escala e tarefas de alinhamento.

Algumas aplicações dessa tecnologia também fizeram parte do repertório de leituras, mais especificamente uma aplicação com sondas 3D desenvolvida pela Universidade do Texas, EUA (S. Kang e D. Tesar, 2000). Ela consiste num dispositivo portátil que pode ser acoplado a um sistema ou mesmo segurado com a mão. Na Sonda, estão localizados três detectores e uma haste com um sensor na ponta para medir posição e orientação de um objeto no espaço.



**Figura 1: Visão geral do sistema iGPS.**

Este projeto faz parte de uma das etapas de um projeto maior chamado AME (Automação de Montagem Estrutural) desenvolvido pelo CCM (Centro de Competência em Manufatura) em parceria com a Embraer através de um financiamento já aprovado pela FINEP.

Ele tem como objetivo a análise de sistemas de medição por coordenadas em grandes áreas para aplicações em montagem industrial e aeronáutica.

Paralelamente, tem-se a avaliação crítica dos atuais processos de montagem estrutural da fuselagem de um avião, realizado hoje manualmente na Embraer, o que traz certa lentidão ao processo de confecção da aeronave. Além disso, deve-se também definir os processos de montagem e procedimentos de medição e atuação.

Como todo processo de medição necessita de uma tolerância, seja ela dimensional ou angular, não se pode esquecer em definir e conhecer as tolerâncias de medição do sistema GPS indoor, além de caracterizar um software apropriado de medição e cálculo.

Infelizmente devido a não aquisição da tecnologia do iGPS por parte da Embraer, não foi possível dar continuidade ao projeto inicialmente proposto. Desse modo, ocorreu uma mudança no foco do estudo. A partir de março deste ano o enfoque passou a ser a avaliação do erro de forma, tais como circularidade e concentricidade, oriundos da usinagem da peça teste cilíndrica, objetivando também aprender a operar um software de programação de torneamento. Assim começou-se um estudo dos conceitos básicos de programação de usinagem em torneamento. Sendo assim, compreender a forma como a máquina trabalha, realizar testes de usinagem e verificar da veracidade das especificações técnicas torna-se imprescindível para o laboratório.

## 2. Objetivos

A programação de usinagem CAM (Computer Aided Manufacturing) para operações de torneamento é um desafio no laboratório de mecânica pois engloba a geração de conhecimento em termos da aquisição de dados, da interface CNC x Máquina, dos conceitos do processo de torneamento, da especificação de tolerâncias de furos e eixos, da operação da máquina, da qualidade e exatidão das peças, dentre outros.

Nesse contexto, este artigo objetiva:

- ✓ fazer a programação CAM de torneamento CNC;
- ✓ executar a usinagem da peça;
- ✓ medir e avaliar os erros de forma na peça resultante.

### 3. Materiais e métodos

O estudo de programação foi feito no software NX da empresa Siemens, e consistiu nas seguintes etapas: inicialmente estudou-se superficialmente CAD (desenho de peças), já que é indispensável para a confecção do programa de usinagem; em seguida iniciou-se o estudo de usinagem com a determinação de parâmetros básicos, como a determinação das geometrias (será detalhado mais à frente); por final estudaram-se as operações propriamente ditas, que consistem na movimentação que a ferramenta de corte irá realizar na usinagem.

A etapa seguinte ao estudo de programação foi a usinagem propriamente dita no Centro de Torneamento ROMI versão E280, a qual foi realizada com o auxílio do técnico em mecânica Wilson Lara, que opera a máquina. (Folheto ROMI E280)

A última fase foi a metrologia, ou seja, a medição das principais dimensões da peça para verificação da conformidade da peça virtual com a peça real. Estas medições foram feitas na Máquina de Medição por Coordenadas (MMC) fabricada pela empresa de metrologia Mitutoyo presente no laboratório. A Tab. 1 mostra suas especificações técnicas.

**Tabela 1: Especificações técnicas da MMC.**

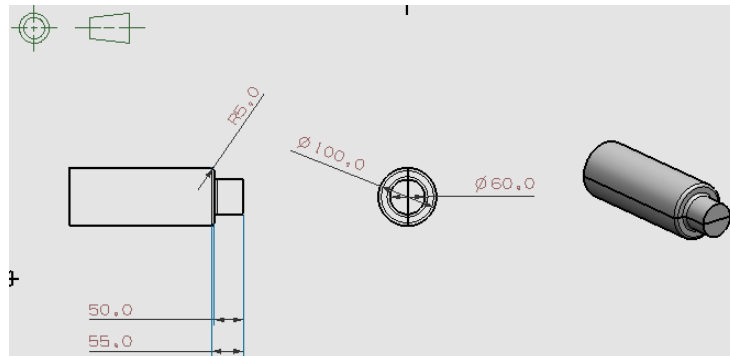
MMC CNC Modelo CRYSTA - APEX C7106	
Curso de medição	X=700mm, Y=1000mm, Z=600mm
Resolução	0,5 $\mu\text{m}$
Tolerância	$\pm(1,7+3*L / 1000) \mu\text{m}$

### 4. Resultados obtidos

#### 4.1 Modelagem, programação CAM e usinagem

Iniciar-se-á a exposição dos resultados com os passos do aprendizado de programação no software NX. Foi dito anteriormente que o estudo se iniciou com princípios básicos de CAD, como essa parte não é a mais importante, não será detalhada, dessa forma, dar-se-á mais ênfase à programação de torneamento.

A peça teste é relativamente simples, basicamente os passos para se desenhar a mesma se resumem a fazer-se um cilindro de 100mm de diâmetro e com altura de 300mm; em seguida fez-se o degrau através da revolução de um retângulo na ponta do cilindro e por final arredondaram-se os cantos vivos com raios de 5mm. As dimensões da peça estão mostradas na Fig. 2.



**Figura 2: Dimensões da peça teste.**

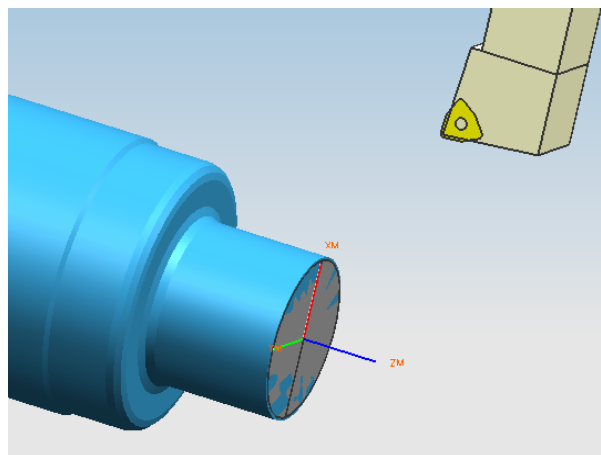
A etapa seguinte à confecção do desenho CAD da peça é a programação da usinagem. A usinagem desta peça teste é composta basicamente por uma operação de desbaste e uma de acabamento, totalizando duas operações.

Qualquer programa de usinagem deve ser iniciado com a determinação das geometrias, por geometrias entenda-se a posição sistema de coordenadas da máquina, o blank (se for o caso), a peça a ser usinada, as restrições de movimento da ferramenta etc. Na determinação do sistema de coordenadas, escolhe-se também o plano de trabalho da ferramenta (Siemens Corporation, "Tutorial").

O passo seguinte é a determinação da peça a ser usinada e do blank, que em neste caso não foi determinado devido à simplicidade da peça. A etapa que se segue é a determinação dos limites de usinagem e dos limites do blank, nesta etapa, é possível perceber a não necessidade da determinação do blank no passo anterior, pois o programa por si só infere a geometria deste elemento.

Finalizada a determinação das geometrias parte-se agora para a usinagem propriamente dita. A primeira operação é o desbaste, é nesta etapa que se determinam todos os parâmetros do corte, como tolerâncias, avanço, velocidade etc. Em muitos casos não se faz necessário usinar a peça inteira, mas somente uma parte da mesma, por isso, pode-se determinar planos os quais a ferramenta não pode ultrapassar, evitando assim possíveis colisões; é também nesta etapa que se determinam esses planos.

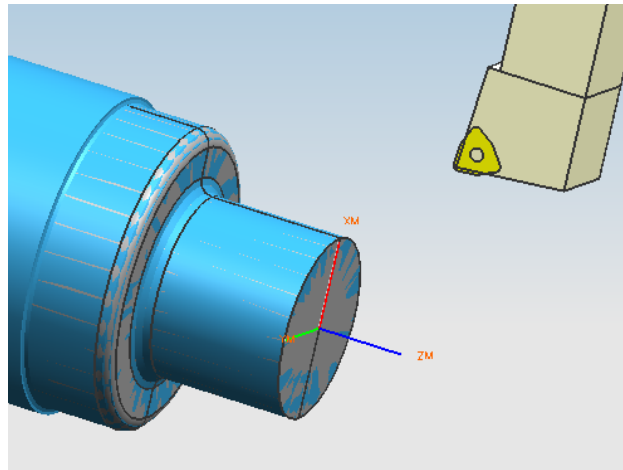
Finalmente, depois de determinados todos os parâmetros que se deseja, pode-se ver a usinagem da peça virtualmente, o resultado é mostrado na Fig. 3. Pode-se perceber na figura que o software mostra o sobremetal (parte em azul) e a peça (parte cinza), possibilitando ao programador avaliar visualmente o parâmetro especificado.



**Figura 3: Visualização virtual do desbaste da peça.**

Feita a programação do desbaste passa-se para a operação de acabamento, que será mostrada com menos detalhes pela grande semelhança com a operação anterior. O acabamento é essencialmente um desbaste onde os

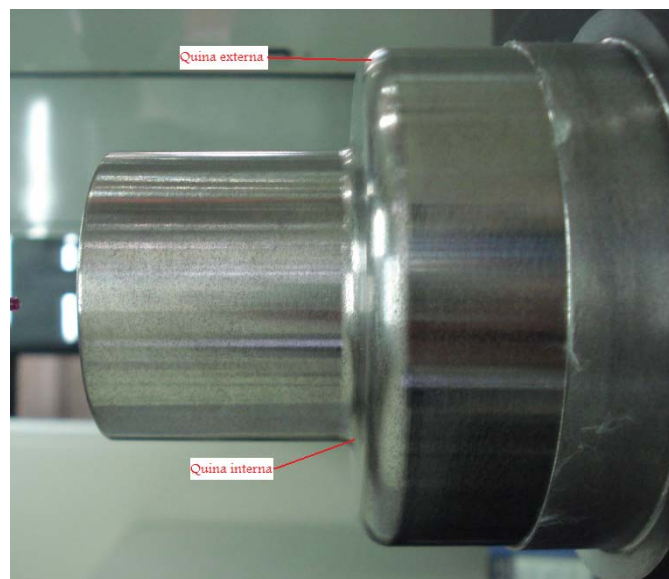
parâmetros são mais refinados. No caso da peça, a principal diferença entre as operações é que no caso do desbaste foi deixado um sobremetal de 0,5mm, enquanto que no acabamento o sobremetal é de 0mm. Da mesma forma como foi feito no caso do desbaste, podemos também simular a operação de acabamento, a Fig. 4 mostra o resultado final da usinagem da peça, onde novamente em cinza temos a peça e em azul o sobremetal, supostamente de 0mm.



**Figura 4: Simulação da operação de acabamento.**

É importante ressaltar aqui que muitos outros parâmetros poderiam ser alterados nas operações, porém, o software vem com a maioria dos parâmetros determinados por default, portanto, somente foram mostrados os parâmetros que foram mudados.

Após o término do programa, é necessário que a linguagem do software seja “traduzida” para a linguagem da máquina, a essa operação dá-se o nome de pós-processamento. Neste caso, foi utilizado um pós-processador genérico de torno. Feito isso, parte-se para a usinagem na máquina, que foi operada pelo técnico Wilson como dito anteriormente, o resultado final da usinagem está mostrado na Fig. 5.



**Figura 5: Resultado da usinagem da peça na máquina ROMI E280.**

## 4.2 Medição

Após a programação CAM e a usinagem propriamente dita da peça, faz-se necessária a medição da peça para verificação da precisão da máquina, etapa esta que talvez seja a mais importante, pois é imprescindível que o engenheiro verifique a conformidade da peça feita pela máquina comparando-a com a peça virtual.

Inicialmente mediu-se a circularidade do cilindro menor (circulo 1) e do cilindro maior (cilindro 2); para isso, fez-se uma aquisição automática de pontos no meio do corpo dos cilindros, o número de pontos está explicitado no relatório mostrado na Fig. 6 e na Fig. 7, gerado pela MMC com os resultados da medição das circularidades para os dois casos respectivamente.

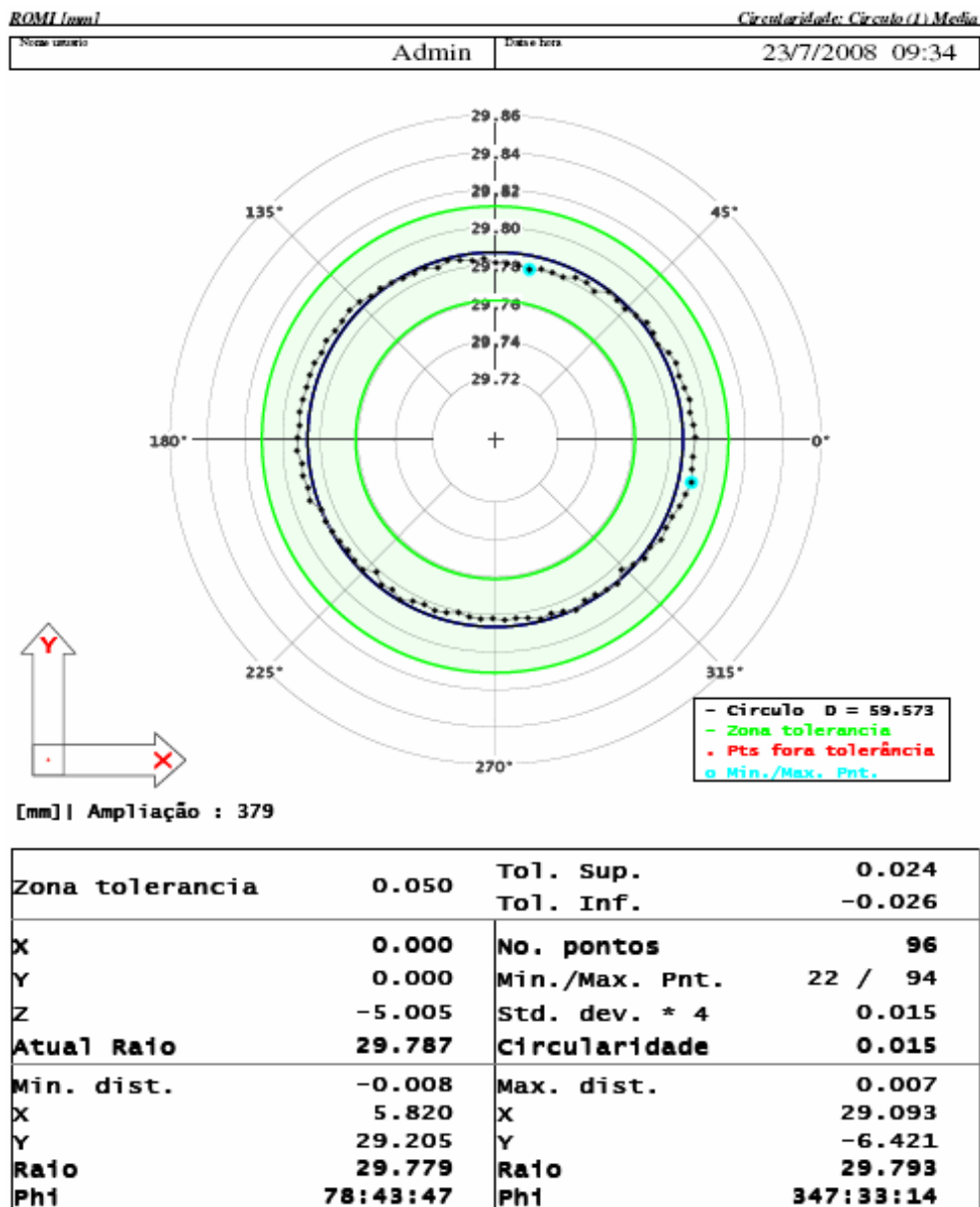
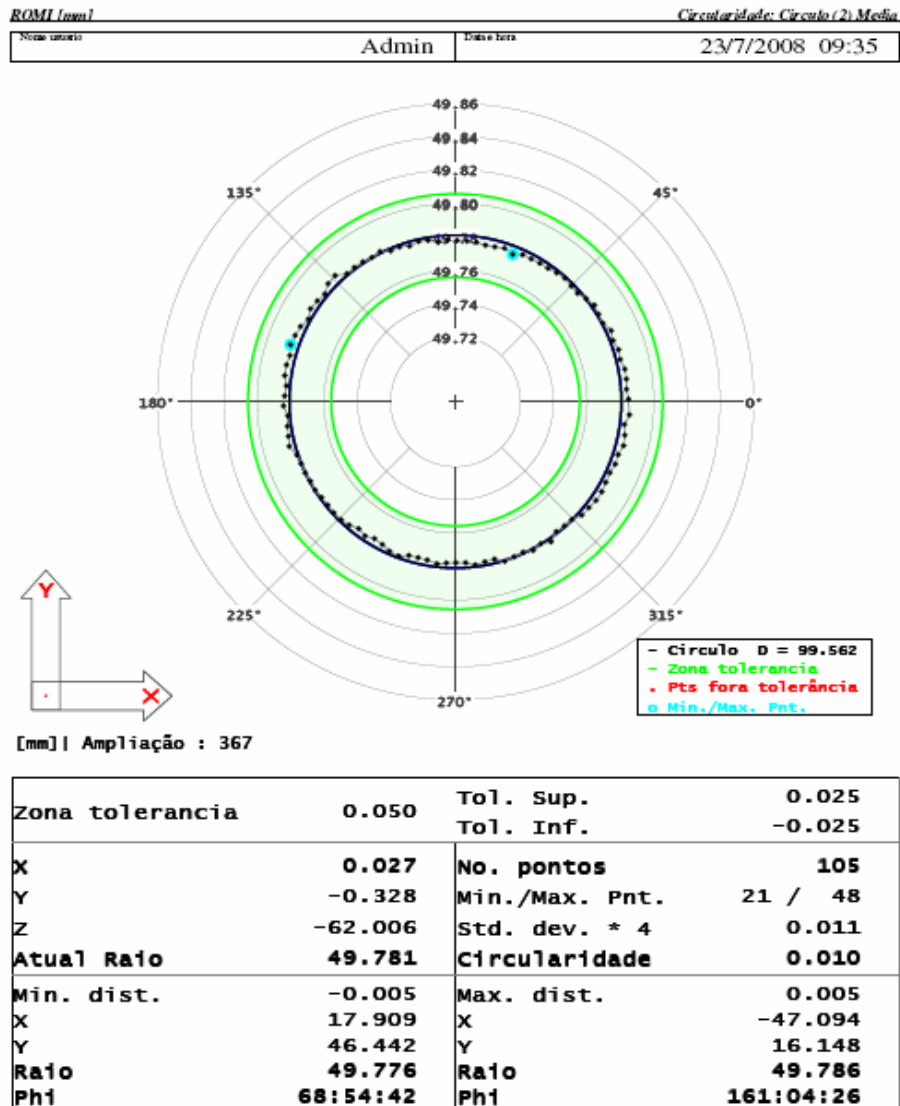


Figura 6: Circularidade do cilindro 1 (menor raio).



**Figura 7: Circularidade do cilindro 2 (maior raio).**

Analisando-se as circularidades percebemos que atingiu-se uma precisão muito boa, fato que pode ser comprovado olhando-se para a zona de tolerância, que é de 0,05mm (radial), e não foi ultrapassada em nenhum momento; no que diz respeito ao raio do cilindro, atingiram-se erros de 0,71% para o cilindro menor e de 0,438% no cilindro maior, erros bem pequenos dependendo da aplicação da peça; como esta peça é somente para testes não se teve um valor de tolerância especificado.

A etapa seguinte de medição foi a concentricidade e o raio de quina. Foi dito raio de quina intencionalmente, pois somente foi medido o raio da quina externa (vide Fig. 5) devido a restrições geométricas da máquina, que não possuía uma ponta (como ponta entenda-se a haste flexível que toca a peça a ser medida) comprida o suficiente para tocar a quina interna (vide Fig. 5). Para se realizar esta medição foi feita uma varredura de pontos de 90 graus tomando-se como ponto de início aproximadamente o início do chanfro, tanto na quina externa superior como na inferior. A Fig. 8 a seguir mostra uma tabela com os resultados desta medição gerada pelo software da MMC.

CLIENTE		MENSURANDO		TEMPERATURA (C)/UMIDADE			EXECUTOR	
CCM		TESTE DE TORNEAMENTO		20.3°/51%			DANIEL	
El. No.	Lin No	Element	Pnt Ref	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance
CILINDRO 1								
5	24	Circulo Media	96	0.000	0.000	-5.005	59.573	0.015
CILINDRO 2								
6	26	Circulo Media	10	0.027	-0.328	-62.006	99.562	0.010
CONCENTRICIDADE								
1	28	Circulo Concentricidade	X	0.027	0.500	0.000	0.658	0.158
			Y	-0.328		0.000		--->>
RAIO DE QUINA 1								
7	30	Circulo Media	80	42.299	-9.369	-56.515	13.623 R 6.811	0.360
RAIO DE QUINA 2								
8	32	Circulo Media	68	-42.479	-9.239	-56.310	13.041 R 6.52	0.212

**Figura 8: Tabela gerada pela máquina para concentricidade e raio de quina.**

Nesta tabela, cilindro 1 e cilindro 2 são os mesmos já citados, e quina 1 e 2 se referem à medição da quina externa superior e inferior da peça de acordo com a Fig. 5. Levando-se em consideração que as medidas são todas dadas em milímetros assim como as dimensões da peça, pode-se dizer que obteve-se uma boa precisão na concentricidade, isso porque as dimensões da peça são da ordem de 100mm e a distância entre os centros obtida foi de 0,158mm.

Quanto ao raio da quina, tomando-se uma média entre as duas medições e o valor nominal de 5mm, obteve-se um erro de 33,3%, que pode ser considerado grande. Três justificativas podem ser dadas para este erro, a primeira está relacionada ao operador da MMC, que pode ter de alguma forma tomado a medida de maneira errada, as duas outras estão relacionadas ao Centro de Torneamento; a primeira diz respeito ao fato de o acabamento ter sido feito em uma única passada, o que pode ter comprometido a usinagem do canto; a segunda está ligada ao pós-processamento, que devido foi feito através de um pós-processador genérico, e não o mais apropriado para a máquina, podendo assim ter falhas. Um outro detalhe que deve ser levado em consideração é o fato de o Centro de Torneamento também possuir opção de trabalhar com fresamento, o que poderia conferir melhor precisão na usinagem do canto. Para trabalhar-se com fresa fixa-se um motor na torre da máquina, podendo-se assim trabalhar com ferramentas acionadas como fresa e broca.

## 5. Conclusão

Com relação ao plano cronológico inicial deste trabalho, temos que o mesmo foi muito afetado devido à falta de recurso, leia-se o instrumento iGPS, e também devido a falta de licenças para utilização de algum software de medição. Dessa maneira, o trabalho realizado no primeiro semestre se resume no conhecimento teórico desta nova tecnologia, a qual ainda é extremamente recente de forma a ser um dos primeiros sistemas desta envergadura na América do Sul.



Apesar da mudança de área devido à falta de recursos para continuação da pesquisa da nova tecnologia, pode-se dizer que a pesquisa teórica foi muito proveitosa no sentido de ganhar um bom embasamento do instrumento em questão (iGPS), tornando possível já propor uma forma de realizar a tarefa de nivelamento e alinhamento de fuselagens utilizando-se dessa tecnologia bem como compará-la com a dos Laser Trackers já existente.

Mesmo em face à mudança brusca e relativamente tardia (iniciada em março deste ano), foi possível adquirir grande conhecimento na área de torneamento CNC. Pode-se dizer que a interação com o programa foi bem amigável, podendo-se aplicar facilmente os conhecimentos adquiridos em usinagem de peças, o fato de o laboratório estar equipado com a máquina com certeza foi um fator extremamente significativo para a consolidação dos conhecimentos.

Um outro detalhe que pode ser analisado é a interface do software NX, que se demonstrou bem amigável no que diz respeito à programação CAM, uma vez que os botões são extremamente auto explicativos indicando com desenhos os comandos que realizam. A árvore de comando que se situa do lado esquerdo se mostrou potencialmente muito interessante, talvez nem tanto neste caso pela simplicidade, mas num caso em que muitas operações são necessárias para se executar a usinagem completa é extremamente importante que se tenha uma árvore bem organizada para que o programador não se perca durante a confecção do programa. Quanto à usinagem no Centro de Torneamento, pode-se dizer que a mesma se concretizou de maneira esperada, não havendo nenhum problema de colisão e aparentemente nem de falha na execução do programa.

Relativamente às medições, pode-se dizer que a máquina teve um bom desempenho na confecção dos cilindros, como pode ser visto nos valores de erro de diâmetro e no valor de concentricidade discutidos anteriormente, porém na medição das quinas percebeu-se um erro grande (33,3%), devido ou a erros do operador ou a erros da própria máquina, também discutidos anteriormente.

Pôde-se também perceber a grande utilidade da Máquina de Medição por Coordenadas, que é tem manuseio relativamente fácil e pode atingir precisões muito boas, sem contar nos relatórios emitidos automaticamente pelo software da máquina, muito úteis na análise metrológica de uma peça.

Dessa forma, apesar das dificuldades originadas pela não aquisição da tecnologia iGPS, pode-se dizer que a mudança de área foi muito proveitosa e agregou um bom conhecimento principalmente na área de usinagem de peças, extremamente importante no que diz respeito à engenharia.

## **7. Referências bibliográficas**

User's Guide of Indoor GPS, Version 6.0;

S. Kang and D. Tesar, 2000, "Metrology Test Environment for Modular Actuators", Master's Thesis, The University of Texas at Austin;

Folheto ROMI E280;

Siemens Corporation," Tutorial".6125 Phyllis Dr, Cypress, California 9630 US, 2004

## **8. Agradecimentos**

- Aos órgãos governamentais CAPES, CNPq, FAPESP e FAPPEAM pelos auxílios financeiros;
- Ao professor Ricardo Sutério, pela orientação e preocupação com a realização do projeto;
- À Raquel Melo, pela ajuda e atenção indispensáveis na consecução dos objetivos;
- A Jacson Machado, pela grande ajuda na área de usinagem e também pela orientação;
- A Willian Carvalho, pela ajuda na área de programação no software NX;
- Ao CCM pela oportunidade de iniciação.