



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA  
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING  
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil  
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

## CON 10-0646 - ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA E DO NÚMERO DE TRANSMISSORES NA MEDIÇÃO POR COORDENADAS COM O SISTEMA iGPS - INDOOR GLOBAL POSITIONING SYSTEM

Landeta, Bolívar Hernán<sup>1</sup>; Sutério, Ricardo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica; <sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

### Resumo:

Novos equipamentos têm sido desenvolvidos para medição de coordenadas de grandes volumes. Em especial os equipamentos que utilizam tecnologias ópticas a laser oferecem exatidões superiores a décimos de milímetro e grande flexibilidade de medição. Este trabalho aborda o iGPS (indoor Global Positioning System), projetado para a medição de grandes volumes, mas com poucos estudos a respeito de sua confiabilidade metrológica em aplicações aeronáuticas. Assim, levando em consideração um procedimento genérico de medição, verifica-se que diversos fatores podem influenciar significativamente a exatidão de seus resultados, onde especificamente é apresentado o estudo da influência de dois destes fatores, relacionados com a distância e o número de transmissores utilizados na medição dentro de um volume pré-estabelecido.

**Palavras chave:** iGPS; transmissores de medição; medição de grandes volumes; confiabilidade metrológica

**Tema:** Mecatrônica, Robótica, Controle e Automação.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de seguir a posição de objetos, assim como realizar medições de corpos em grandes volumes em um espaço de trabalho interno com exatidões na casa de centésimos de milímetro, abre espaço ao uso de sistemas de medição ópticos a laser. Desta forma, a importância de medições tais as relacionadas aos comprimentos na metrologia de grandes volumes se equivalem a importância de alinhamento e de medições angulares (Puttock, 2008). Por outro lado, a interação direta do homem com o mensurando tem sido substituído com a ajuda de outros sistemas mais avançados com novos instrumentos versáteis de medição e softwares dedicados. Desde o início da segunda metade do século XX, têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados equipamentos de interferometria a laser, tais como rastreadores ou sistemas ópticos de scanner sem pontos fixos de controle para medição de distâncias absolutas e poderosos sistemas de fotogrametria digital, com os quais, se conseguem realizar ou flexibilizar muitas tarefas de medição de grande escala sem a necessidade de ferramentas especiais com uma instrumentação customizada.

O iGPS (indoor Global Positioning System), é um sistema com relativa novidade no setor metrológico mundial e com aplicação inédita no setor aeronáutico Brasileiro. Algumas pesquisas tem sido desenvolvidas utilizando este sistema de medição, como para controlar e rastrear a trajetória de um robô móbil não holonômico (Hada *et al.*, 2003). Depenthal e Schwendemann (2009) realizaram medições da exatidão deste sistema em função da distribuição do equipamento numa determinada área de trabalho. Maropoulos *et al.* (2008) em conjunto com outro sistema de medição óptica, Laser Tracker, conferiu as tolerâncias em grandes volumes relacionadas com partes e subconjuntos aeroespaciais. Outros trabalhos, como o de Cuyper *et al* (2009) relacionou as técnicas de medição óptica na metrologia móbil em grandes volumes, explicando brevemente o princípio de funcionamento do iGPS.

O presente trabalho pretende explicar em detalhes o princípio de funcionamento do iGPS e identificar através de procedimentos experimentais, a exatidão desse sistema de medição relacionando o número e posição dos transmissores e sensores de medição com o objetivo de identificar suas características técnicas para futuras aplicações práticas em processos de automação para controle de posicionamento e nivelamento de estruturas aeronáuticas.

## 2. O SISTEMA iGPS

Preliminarmente, a Fig. (1) apresenta um gráfico comparativo de sistemas de medições em função do alcance físico e respectiva exatidão (Mautz, 2008). Da mesma figura, observa-se que tanto Lasers Trackers quanto as Máquinas de

Medição Coordenadas, são sistemas que apresentam melhores exatidões com a vantagem que o primeiro, atinge praticamente as mesmas faixas de medição do iGPS. Desta forma são os sistemas utilizados como referência para atestar a qualidade metrológica do iGPS.

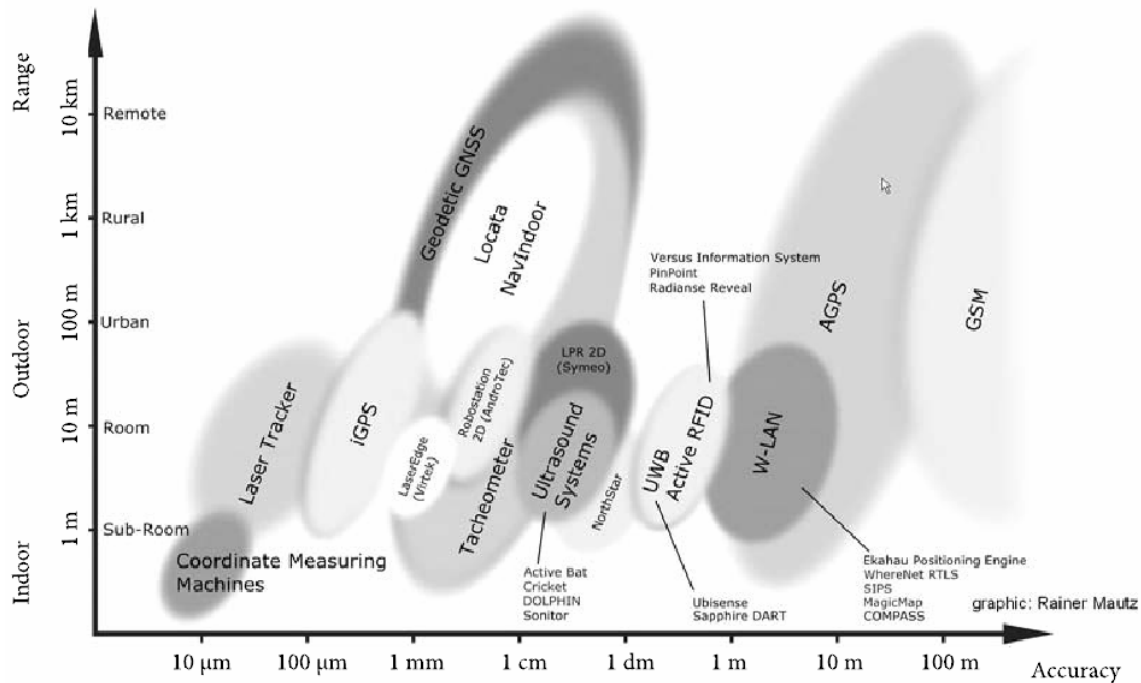


Figura 1. Sistemas de medições de grandes volumes em função da cobertura e respectivas exatidões. Fonte: Mautz (2008).

### 2.1. Princípio Físico do Sistema iGPS

Alguns artigos e catálogos técnicos tais como os de Kang e Tesar (2004); ARCSECOND (2005); Melo *et al.* (2008) tratam sobre o sistema iGPS e serviram de base para o melhor entendimento de seu funcionamento. Fazendo uma analogia com o sistema de satélites GPS (“Global Positioning System), onde a localização de um ponto no espaço é obtido através de uma informação 3D. No sistema iGPS a localização de um ponto no espaço é obtido com um transmissor laser que gera sinais de luz infravermelha. Em uma posição estratégica ele emite duas formas de feixe com aproximadamente 90° no plano horizontal. Os feixes abrangem uma faixa de 60° a partir do plano horizontal e estão inclinados 30° em relação ao plano vertical, como apresentados nas Figuras (2a) e (2b).

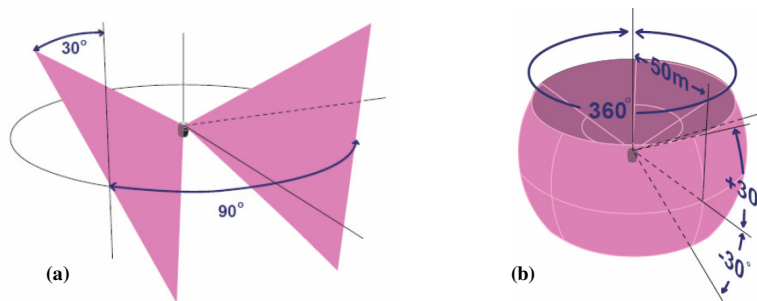


Figura 2. (a) Disposição dos feixes de laser. (b) Área de cobertura de um transmissor. Fonte: METRIS (2009).

A Figura (3) esquematiza melhor o modelo de funcionamento do iGPS. Com a rotação do transmissor, os dois feixes varrem todo o volume de medição (Figuras (2b) e (3)) e a velocidade de rotação de cada transmissor é a identificação que permite o receptor trilhar e isolar os sinais de um transmissor específico. Um terceiro sinal óptico infravermelho de tipo estroboscópico é emitido pelo transmissor no início de cada duas rotações para identificar qual transmissor envia o sinal para o sensor (Maisano *et al.*, 2008). Quando um receptor é acessível a dois ou mais transmissor, sua posição pode ser calculada por triangulação, assumindo que os transmissores estabelecem uma área de trabalho de referências

conhecidas. O processo de configuração do iGPS determina a posição e a orientação de cada transmissor na área de trabalho.

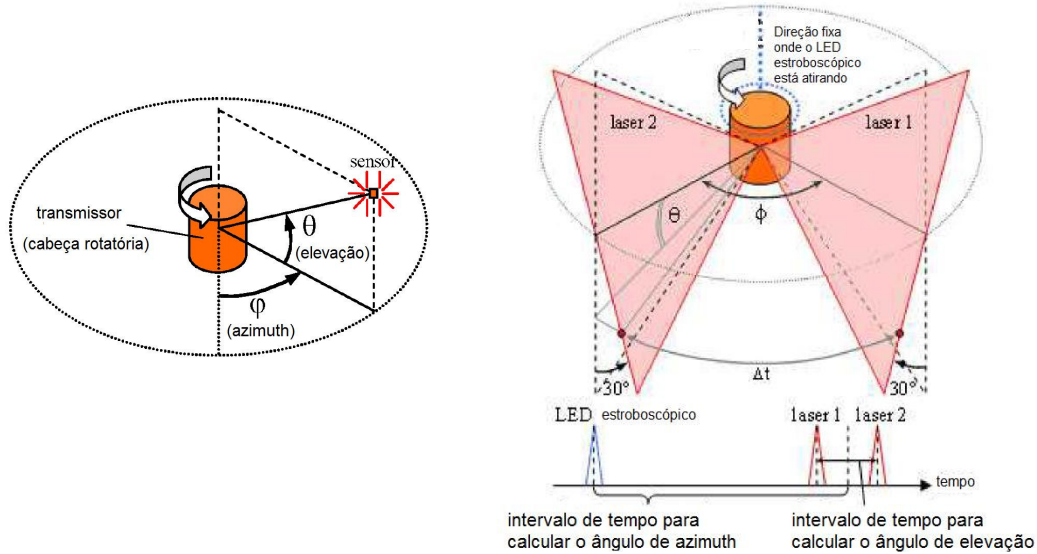


Figura 3. Ângulos de elevação e azimute.

Fonte: Maisano (2008).

O transmissor e sensor estão apresentados na Figura (4a) e (4b). Especificamente os sensores são compostos por um detector de fotodiodo associado a um sinal de processamento (ou amplificador) que detecta e transforma o sinal recebido pelo transmissor, que o envia a um receptor e este a um computador de aquisição e análise.



Figura 4. Partes principais do sistema iGPS: (a) Transmissor, (b) Mini-Vector Bar.

Fonte: METRIS (2009).

A parte inicial do processo corresponde à medição do tempo entre a detecção de cada feixe de laser sobre um sensor e o tempo entre o último feixe de laser e o sinal infravermelho estroboscópico emitido pelo transmissor. Estes dados são conhecidos como intervalos de tempo. Considerando que as características de cada transmissor são conhecidas e que cada um deles gira com uma frequência diferente, os intervalos podem ser convertidos em dados angulares ( $\varphi$  e  $\theta$ ), os quais representam os ângulos entre as duas passadas dos feixes de laser e o pulso infravermelho estroboscópico e a próxima passada do feixe. Como o ângulo de inclinação dos dois feixes de laser é conhecido, o valor angular é convertido aos ângulos de azimute e de elevação dos transmissores. Assim a diferença de tempo entre as passadas dos lasers 1 e do laser 2 (vide Figura (3)), definem o ângulo de elevação ( $\theta$ ) devido à inclinação dos feixes. O ângulo de azimute ( $\varphi$ ) é definido pela diferença entre o pulso periódico de referência e o ponto médio na passagem dos dois feixes de laser. Deste modo, os dois ângulos de elevação e de azimute definem o “raio” do transmissor até o sensor.

É importante saber que o alcance ao sensor não pode ser determinado apenas com um transmissor. Quando o receptor recebe o sinal de dois ou mais sensores, sua posição pode ser calculada usando a técnica da triangulação, assumindo-se que os sensores estabelecem uma rede conhecida e visível na estação de trabalho (computador). Teoricamente o número de transmissores e sensores que pode ser utilizado simultaneamente depende das conexões de cabos e das configurações do software do sistema. Neste trabalho foi utilizado 06 transmissores e 02 sensores (“mini-vector bar”).

#### 4. DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

Todos os experimentos realizados levaram em consideração todas as recomendações do fabricante do sistema (METRIS, 2009), com o objetivo de confrontar os resultados obtidos a suas especificações técnicas e obter o know-how necessário para o desenvolvimento de técnicas adequadas de medição para os processos que serão futuramente

implementados nas montagens estruturais aeronáuticas. As recomendações básicas fornecidas pelo fabricante e observadas neste trabalho foram as seguintes:

- Quantidade de luz no ambiente de trabalho, embora o equipamento também possa trabalhar num espaço exterior, a capacidade de detectar o sinal laser diminui significativamente quanto maior for a intensidade de luz do ambiente.
- A faixa de temperatura não ultrapassou os limites recomendados de 10 °C a 30 °C. Por se tratar de um equipamento eletrônico, o mesmo não oferece um bom desempenho em faixas estendidas, necessitando a todo o momento realizar uma calibração preliminar. Por outro lado, o sistema oferece um melhor desempenho em uma temperatura constante ou com baixos gradientes em função do tempo. O experimento foi realizado em condição de laboratório com uma temperatura em torno de 22 °C com uma variação máxima de  $\pm 2$  °C;
- Fontes de vibração comprometem as medições, afetando tanto os transmissores quanto aos sensores, tais como movimentos ocasionados por corrente de ar, que foram minimizadas nas condições laboratoriais.

#### 4.1. Configuração experimental

Considerando o princípio de triangulação, o número mínimo de transmissores necessário para realizar uma medição são dois, na medida em que este número aumenta, a exatidão da medição melhora. Conforme conferido com os experimentos realizados por Maisano *et al.* (2008). Porém, com a finalidade de analisar a influencia dos outros parâmetros, como a distância entre transmissores e entre os transmissores e sensores, este experimento utilizou uma área de trabalho com os transmissores posicionados ao redor de um corpo de prova conforme apresentado na Figura (5).

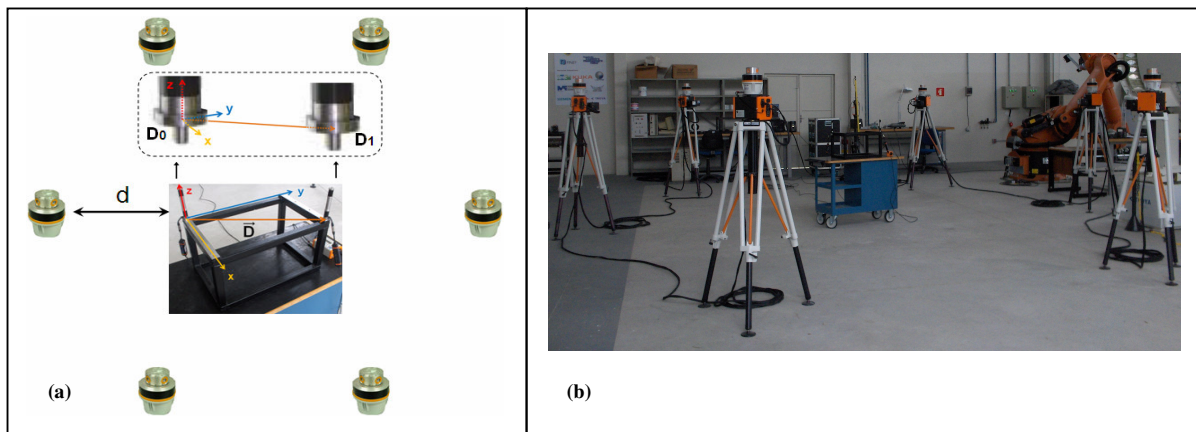


Figura 5. Configuração Experimental: (a) Layout da posição dos transmissores e sensores sobre o corpo de prova; (b) Posição dos transmissores ao redor dos sensores colocados sobre o corpo de prova.

A Figura (5a) apresenta o corpo de prova. Basicamente este é uma estrutura tubular que possui duas superfícies usinadas sobre as quais existem dois furos com tolerâncias dimensionais tipo H7. Nesses furos, foram posicionados os sensores ortogonalmente em relação às superfícies. A distância “*D*” indicada na figura, representa a distância entre os centros dos furos (localizados sobre a superfície) que formam uma das diagonais do corpo de prova. Esta distância “*D*” foi primeiramente medida com uma máquina de medir coordenadas de marca Zeiss, modelo MD-049/09 e com incertezas de medição de  $\pm 14$   $\mu$ m com um nível de confiança de 95%. A medição obtida foi utilizada como o valor de referência e está apresentada na Tab. (1). Pode-se observar que a exatidão de catálogo do iGPS está na ordem de  $\pm 250$   $\mu$ m (NIKON METROLOGY, 2009).

Tabela 1. Resultados medidos das coordenadas  $D_0$  e  $D_1$  com a Máquina de Medir Coordenadas.

		$D_0$ [mm]	$D_1$ [mm]
Valor Nominal	x	0	312
	y	0	510
	z	0	0
“ <i>D</i> ” nominal		597,9 mm	
Valor Medido	x	<b>0,000</b>	<b>312,369</b>
	y	<b>0,000</b>	<b>510,287</b>
	z	<b>0,000</b>	<b>-0,019</b>
“ <i>D</i> ” medido		<b>598,304 mm</b>	

O experimento com o iGPS iniciou-se em medir as coordenadas dos pontos  $D_0$  e  $D_1$ , utilizando-se 06 transmissores, os quais estão distribuídos uniformemente ao redor do corpo de prova, inicialmente todos os transmissores mantêm aproximadamente o mesmo ângulo de convergência de  $60^\circ$  entre cada um deles com relação ao corpo de prova. Assim, mantendo uma distância inicial  $d = 7\text{ m}$  adquiriram-se as medidas das componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$  de cada ponto. Seguidamente o experimento foi repetido, variando-se o número de transmissores para 06, 05, 04, 03 e 02.

O mesmo experimento foi repetido, diminuindo-se a distância “ $d$ ” para 1 m, seguido da aquisição das medidas das coordenadas de  $D_0$  e  $D_1$  em função do número de transmissores de 06 até 02. Novamente, o experimento foi repetido, para uma distância  $d = 3\text{ m}$  entre o corpo de prova e os transmissores.

Durante todos os experimentos realizados, tanto os sensores quanto o corpo de prova, se mantiveram fixos no local de medição para minimizar qualquer variabilidade do mensurando.

Ao variar o número de transmissores para realizar a medição, foi mantida uma distribuição uniforme dos transmissores ativos ao redor do corpo de prova.

#### 4.2. Resultados das medições

A Tabela (2) apresenta os resultados de todos os experimentos realizados. Os valores estão na forma de diferença de coordenadas dos pontos  $D_0$  e  $D_1$  medidos pelo iGPS em relação as coordenadas medidas dos mesmos pontos pela máquina de medir coordenadas, em função da distância entre os transmissores e o corpo de prova e do número de transmissores utilizados no processo de medição.

Tabela 2. Coordenadas medidas dos pontos  $D_0$  e  $D_1$  com o iGPS.

Distância entre os Transmissores e CDP	Ponto Medido	Coordenadas	Número de Transmissores				
			02	03	04	05	06
d = 3 m	$D_0$ [mm]	x	1,442	0,045	0,014	0,203	0,019
		y	0,711	0,157	0,105	0,106	0,166
		z	0,008	0,002	-0,009	-0,155	-0,003
	$D_1$ [mm]	x	-0,918	-0,637	-0,588	-0,378	-0,650
		y	0,384	0,352	0,416	0,253	0,311
		z	-0,269	-0,263	-0,252	-0,436	-0,265
d = 4 m	$D_0$ [mm]	x	0,663	-0,01	0,013	0,268	0,223
		y	-0,389	0,111	0,055	-0,134	-0,044
		z	-0,003	-0,008	-0,003	0,126	0,046
	$D_1$ [mm]	x	-0,530	-0,611	-0,594	-0,212	-0,807
		y	0,361	0,375	0,422	0,064	0,423
		z	-0,269	-0,273	-0,265	-0,139	-0,177
d = 5 m	$D_0$ [mm]	x	1,819	0,006	0,073	-0,004	-0,042
		y	0,209	0,157	0,040	0,121	0,136
		z	0,000	-0,008	-0,011	0,006	-0,014
	$D_1$ [mm]	x	-0,906	-0,635	-0,603	-0,608	-0,639
		y	3,268	0,397	0,416	0,382	0,391
		z	-0,271	-0,265	-0,262	-0,265	-0,262
d = 6 m	$D_0$ (mm)	x	0,492	-0,013	-0,005	-0,024	-0,024
		y	-0,124	0,137	0,127	0,105	0,127
		z	-0,026	-0,001	-0,009	-0,003	-0,007
	$D_1$ (mm)	x	-0,566	-0,633	-0,601	-0,623	-0,617
		y	0,484	0,417	0,404	0,407	0,402
		z	-0,269	-0,269	-0,272	-0,266	-0,271
d = 7 m	$D_0$ (mm)	x	-0,038	-0,065	-0,101	-0,064	-0,054
		y	1,218	0,133	0,153	0,126	0,135
		z	0,005	-0,002	-0,006	0,009	0,002
	$D_1$ (mm)	x	-0,807	-0,501	-0,633	-0,609	-0,591
		y	2,308	0,341	0,408	0,398	0,401
		z	-0,270	-0,269	-0,268	-0,258	-0,269

Após uma análise dos valores utilizando a técnica estatística de análise de variância, concluiu-se que tanto a distância entre os transmissores e o corpo de prova (CDP), quanto o número dos transmissores avaliados, não interfere nos valores medidos das diferenças de coordenadas. Deste modo os resultados obtidos podem ser reduzidos e estão apresentados na Tabela (3).

A Tabela (3) apresenta os valores médios para cada um dos eixos e respectiva repetitividade com nível de confiança de 95 % ( $\pm 2\sigma$ ). A repetitividade foi calculada multiplicando-se o desvio-padrão experimental pelo fator  $t$  student para

um grau de liberdade  $\nu = n-1$ , nível de significância  $\alpha = 0,05$ , em que:  $n$  é o número de medidas realizadas por coordenada.

Tabela 3. Valor médio e repetitividade experimental das diferenças medidas dos pontos “D<sub>0</sub>” e “D<sub>1</sub>”.

Ponto	Coordenada	n	Média	Repetitividade ( $\pm 2\sigma$ )
D <sub>0</sub> [mm]	x	25	0,19	0,97
	y	25	0,15	0,59
	z	25	0,00	0,09
D <sub>1</sub> [mm]	x	25	-0,62	0,30
	y	25	0,57	1,42
	z	25	-0,27	0,10

Assim como os resultados obtidos por Maisano *et al.* (2008), os valores de desvio-padrão experimental no eixo z, sempre vertical ao sistema iGPS, são significativamente menores em relação aos outros dois eixos.

Uma segunda abordagem de análise foi realizada neste trabalho, que consistiu em determinar a diferença entre as medidas do iGPS pelas medidas da Máquina de Medir Coordenadas (MMC), através do módulo das diferenças de cada coordenada dos ponto D<sub>1</sub> e D<sub>0</sub>, ou seja:

$$\Delta D_0 = \sqrt{(x_{0iGPS} - x_{0MMC})^2 + (y_{0iGPS} - y_{0MMC})^2 + (z_{0iGPS} - z_{0MMC})^2} \quad (1)$$

$$\Delta D_1 = \sqrt{(x_{1iGPS} - x_{1MMC})^2 + (y_{1iGPS} - y_{1MMC})^2 + (z_{1iGPS} - z_{1MMC})^2} \quad (2)$$

Em que:

- $\Delta D_0$  é a diferença da resultante do ponto “0” medido entre o iGPS e a MMC.
- $\Delta D_1$  é a diferença da resultante do ponto “1” medido entre o iGPS e a MMC.

As Figuras (6) e (7), apresentam as diferenças da resultante do ponto “0” e “1” respectivamente. Ambos em função da distância e do número de transmissores utilizados no processo de medição. Observa-se que os resultados sofrem uma influência significativa em função do número de transmissores. Fato este observado no trabalho de Maisano *et al.* (2008), concluindo o baixo nível de exatidão do sistema iGPS ao utilizar apenas dois transmissores.

Utilizando-se da técnica estatística de análise de variância, pode-se concluir o mesmo fato observado nas figuras, além de demonstrar que a distância, para o experimento realizado, não influencia na resposta do iGPS, e não há interação entre número de sensores em função da distância medida. Conclui-se que a confiabilidade das medidas é mantida na faixa de medição de 3 até 7 metros.

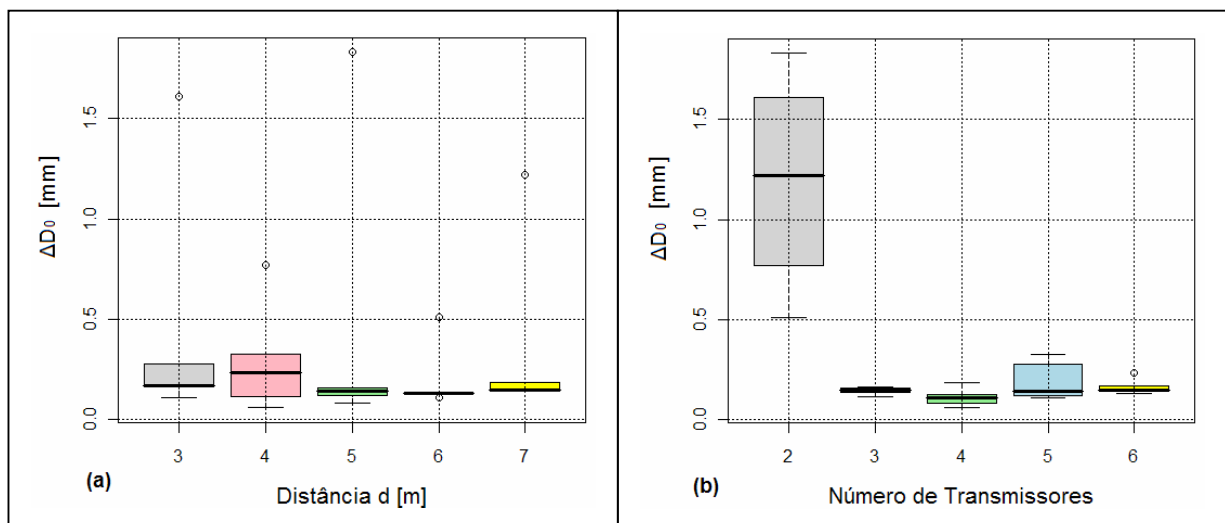


Figura 6. Módulo da diferença de medições no ponto “D<sub>0</sub>”:  
(a) Em função da distância “d”; (b) Em função do número de transmissores.

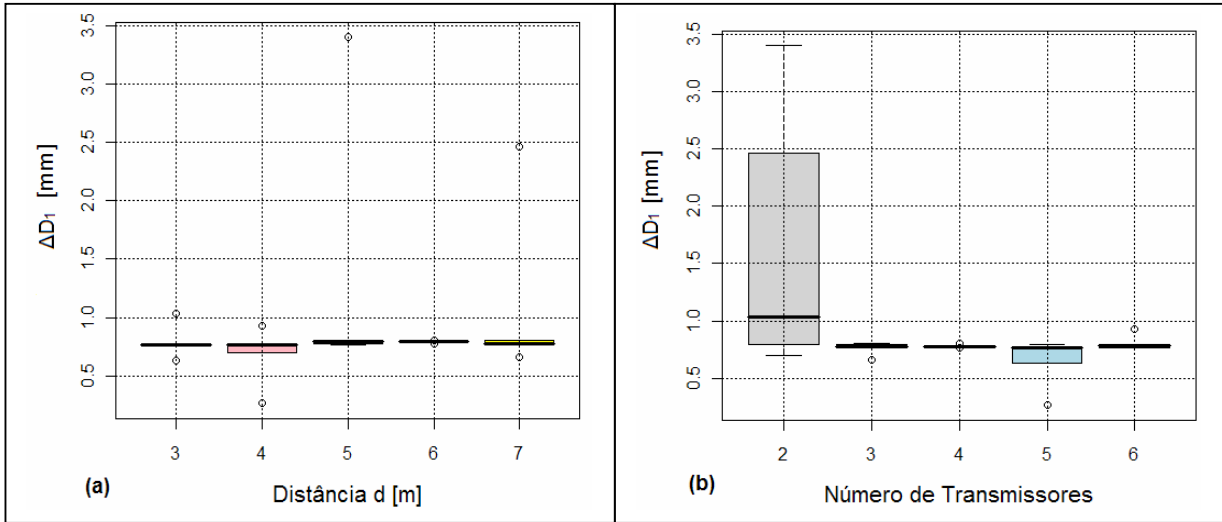


Figura 7. Módulo da diferença de medições no ponto “D<sub>1</sub>”:  
 (a) Em função da distância “d”; (b) Em função do número de transmissores.

Para melhor visualização dos resultados de  $\Delta D_0$  e  $\Delta D_1$ , as Figuras (8) e (9) apresentam os mesmos resultados das Figuras (7) e (8), sem considerar os dados do iGPS com 02 transmissores.

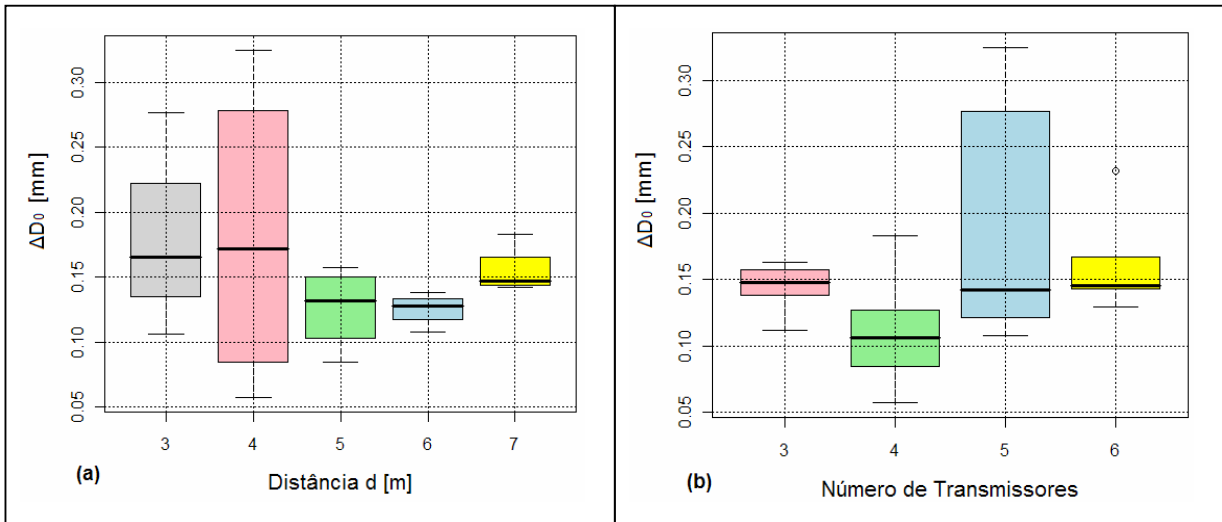


Figura 8. Módulo da diferença de medições no ponto “D<sub>0</sub>” sem os dados com 02 Transmissores.  
 (a) Em função da distância “d”; (b) Em função do número de transmissores.

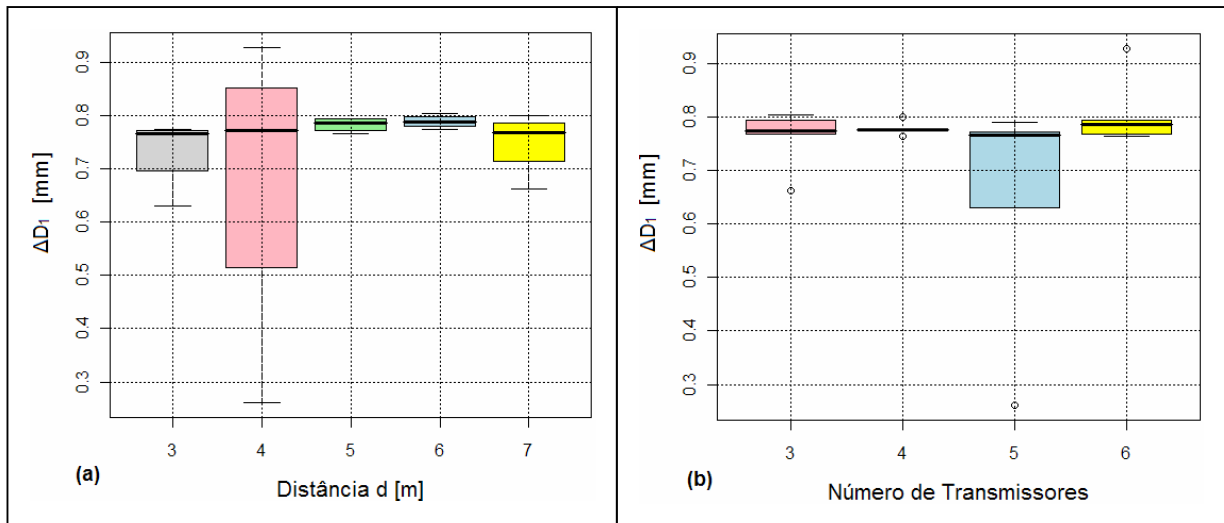


Figura 9. Módulo da diferença de medições no ponto “ $D_1$ ” sem os dados com 02 Transmissores. (a) Em função da distância “ $d$ ”; (b) Em função do número de transmissores.

Os resultados das Figuras (8) e (9) apresentam que tanto a distância quanto o número de transmissores não causam efeito significativo nos resultados medidos dos módulo da diferença de medições nos pontos entre o iGPS e a MMC para um nível de significância  $\alpha = 0,05$  ou nível de confiança de 95 %. Desta forma os resultados experimentais podem ser resumidos conforme apresentado na Tab. (4) abaixo.

Tabela 4. Valor médio e repetitividade experimental do módulo da diferença de medições entre iGPS e MMC para os pontos “ $D_0$ ” e “ $D_1$ ”

Delta	n	Média	Repetitividade ( $\pm 2\sigma$ )
$D_0$	25	0,36	0,99
$D_1$	25	0,93	1,30

Dos resultados apresentados, conclui-se que a exatidão do iGPS em todo o escopo deste trabalho, está na ordem de 2,3 mm. Alguns fatores de erros podem entrar na discussão, por exemplo:

- Folga H7 no furo equivale a um erro de tolerância na ordem de 20  $\mu\text{m}$ , desprezível em relação à ordem de grandeza dos resultados, gerando folgas entre o furo do corpo de prova onde se encaixa o mini vector bar (sensor) nas posições tanto de “ $D_0$ ” quanto de “ $D_1$ ”. Portanto, provável não concentricidade dos eixos longitudinais do sensor e do furo.
- Como resultado das iterações de distâncias “ $d$ ” e o número de transmissores, se deriva um novo fator relacionado à distância entre os transmissores no momento de tomar as medições, pois como indica o manual do usuário do iGPS, a presença de superfícies refletivas posicionadas a distâncias inferiores a 03 m diminuem a capacidade dos transmissores na leitura do posicionamento dos sensores devido a difusão do sinal laser. Estas superfícies refletivas neste caso estão representadas pela cobertura dos LEDs infravermelhos estroboscópicos dos mesmos transmissores. Assim, explica-se a variação do erro de medição ( $\Delta D_1$ ) na faixa de 03 a 05 m na distância entre transmissores e sensores.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho explica de forma detalhada o princípio de funcionamento do iGPS e determina através de procedimentos experimentais, a exatidão do sistema. Foi observado que a partir de 03 transmissores a exatidão do sistema permanece constante dentro da faixa de 03 a 07 metros.

Devido à exatidão do sistema estar na ordem de 2,3 mm, conclui-se que com os procedimentos utilizados, o sistema não atende uso a processos de automação aeronáutica devido aos requisitos estarem na ordem de 0,5 mm. Portanto, avaliações futuras devem ser realizadas com o uso de bases fixas para melhorar a exatidão de medição do iGPS, conhecidos como monumentos de referência fixa.

Até o momento não foi possível verificar a influência do número de transmissores e caracterizar a exatidão do iGPS em função das distâncias. Os resultados de medição ainda carecem de melhor estabilidade e exatidão. Até o presente conclui-se que pelo menos 3 transmissores devem ser utilizados para qualquer processo de medição.

Embora o fabricante recomende que o iGPS tenha boas características metrológicas na faixa de 03 a 35 m e 04 transmissores, este trabalho limitou-se até 07 metros devido as suas instalações físicas. Assim, sugerem-se futuros



trabalhos com este equipamento, onde se possa utilizar um espaço “indoor” que atinja as distâncias de medição indicadas pelo fabricante, para identificar as causas da pouca repetitividade do sistema de medição.

Também planeja-se realizar outros trabalhos que tenham seu respectivo estudo de projeto e análise de experimentos para obter o número adequado de repetições da medição para encontrar valores de incertezas de medição ao variar distancias e o número de transmissores.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro das agências governamentais brasileiras: FAPESP, CNPq, CAPES e FINEP.

## 7. REFERÊNCIAS

- ARCSECOND, 2005. “GPS Indoor - User’s Guide”, versão 6.0. 12 Mar. 2010  
<<http://www.arcsecond.com/index.aspx>>.
- Cuyppers, W.; Van Gestel, N.; Voet, A.; Kruth, J. P.; Mingneau, J.; Bleys, P., 2009. “Optical measurement techniques for mobile and large-scale dimensional metrology”, ELSEVIER Optics and Lasers in Engineering 47, pp. 292-300.
- Depenthal, C.; Schwendemann, J., 2009. “IGPS – A new system for static and kinematic measurements”. Optical 3-D Measurement Techniques IX, v. 1, p. 131-140, Vienna, Austria.
- Hada, Y.; Hemeldan, E.; Takase, K.; Gakuhari, H., 2003. “Trajectory tracking control of a non-holonomic mobile robot using iGPS and odometry”, IEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 4-2, pp. 51-57.
- Kang, S. H.; Tesar, D., 2004. “Indoor GPS metrology system with 3D probe for precision applications”, Proceedings of ASME IMECE 2004 International Mechanical Engineering Congress and RD and D Expo, Anaheim, USA.
- Maisano, D. A.; Jamshidi, J.; Franceschini, F.; Maropoulos, P. G.; Mastrogiacomo, L.; Mileham, A. R.; Owen, G.W., 2008. “Indoor GPS: system functionality and initial performance evaluation”. International Journal of Manufacturing Research, v. 3, n. 3, pp. 335-349.
- Maropoulos, P. G.; Guo, Y.; Jamshidi, J.; Cai, B., 2008. “Large volume metrology process models: a framework for integrating measurement with assembly planning”. ELSEVIER CIRP Annals – Manufacturing Technology 57, pp. 447-480.
- Mautz, R., 2008. “Overview of current indoor positioning systems”. Geodesy and Cartography 2009, 35(1), pp.18-22.
- Melo, R.; Furtado, L. F.; Sutério, R.; Gonzaga, L., 2008. “Análise de Viabilidade para Medição e Montagem de Estruturas de Grandes Volumes com o Sistema GPS-indoor”, 5th National Congress of Mechanical Engineering, Salvador, Brasil.
- METRIS, 2009. “Ispace, Ontario, Canada. Portable metrology systems user manual and startup guide”.
- NIKON METROLOGY, 2009. “2008\_Ispace\_6p\_ENG\_0409” iGPS Brochure. 12 Mar. 2010  
<<http://www.nikonmetrology.com/tlcharger/brochures/>>.
- Puttock, M. J., 1978. “Large-scale metrology”. CIRP Annals 27, pp. 351–356.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Bolívar Landeta e Ricardo Sutério são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

# CON 10-0646 - STUDY OF THE INFLUENCE OF DISTANCE AND TRANSMITTERS NUMBER IN COORDINATE MEASURING USING THE IGPS SYSTEM - INDOOR GLOBAL POSITIONING SYSTEM

### **Abstract:**

*New devices have been developed to coordinate measuring of large volumes. Especially, those that use laser optical technologies offer accuracies greater than tenths of a millimeter and great measurement flexibility. This paper addresses the iGPS (indoor Global Positioning System), designed for measuring large volumes but few studies about its metrological reliability in aeronautical applications. Thus, considering a generic measuring procedure, it is verified that several factors may significantly influence their results accuracy, where is specifically made a study of two-factors influence related to distance and transmitters used to measure within a predetermined volume.*

**Keywords:** iGPS; measuring transmitters; large volume measuring; metrological reliability