

CALIBRAÇÃO DE MIRA HORIZONTAL DE INVAR E SUA APLICAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIAS COM ALTA PRECISÃO

PEDRO LUIS FAGGION¹
TARCISIO FERREIRA SILVA²
SILVIO HENRIQUE DELLESPOSTE ANDOLFATO¹
DANIEL PEROZZO DOS SANTOS¹

(¹) Universidade Federal do Paraná - UFPR
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geomática, Curitiba – PR

(²) Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife-PE

faggion@ufpr.br
tarcisiofs@yahoo.de
andolfato@utfpr.edu.br
danielperozzo@hotmail.com

RESUMO - O posicionamento preciso em áreas restritas tem sido um desafio para atender as necessidades dos desenvolvimentos atuais, onde as locações industriais, por exemplo, requerem precisão sub milimétrica na locação da maioria dos equipamentos. Baseados nisso, um grupo de Pesquisadores das Universidades Federais do Paraná e do Pernambuco estão trabalhando no sentido de utilizar técnicas e equipamentos Geodésicos para determinar deslocamentos com precisão compatível com essas necessidades. O trabalho em questão traz os primeiros resultados da medição de pequenos deslocamentos utilizando Interferômetro *Laser*, Estação Total e Mira Horizontal de Invar.

ABSTRACT – The precise positioning in restricted areas has been a challenge to meet the needs of current developments, where industry locations, for example, require sub-millimetres precision in the positioning of many equipments. Based on that, a group of researchers of the Federal University of Paraná and Federal University of Pernambuco are working to use geodetic techniques and equipments to determine with precision displacements compatible with these needs. The work in question brings the first results of the measurement of small displacements using Laser Interferometer, Total Station and Horizontal Invar Staff .

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia de Precisão, sugerida pela Associação Internacional de Geodésia (IAG), esta em grande evidência. Isto tendo em vista o desenvolvimento tecnológico e com isso a necessidade de posicionamento com alta precisão, aplicado na locação de máquinas industriais, monitoramento de estruturas por exemplo.

Para atender essas e outras necessidades foram desenvolvidos instrumento, entre eles enquadram-se as Estações Totais, os Níveis Digitais, Interferômetros *laser*, entre outros. Porém, um equipamento que foi concebido há décadas, Mira Horizontal de Invar, ainda pode ser utilizado para determinar pequenas distâncias com precisão equivalente, ou melhor, aos equipamentos atuais.

A proposta deste trabalho é confirmar a calibração de uma Mira Horizontal de Invar, em uso no Laboratório de Metrologia Geodésica da UFPE realizada em julho de 2007 no setor de Geodésia da Faculdade de Nova Brandesburgo, processando-se a recalibração da mesma na base ativa de calibração do LAIG-UFPR controlada por Interferômetro *laser* como padrão de referência (*Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas*). Posteriormente medir e comparar entre si, no mesmo ambiente à 20°C, pequenos deslocamentos com o Interferômetro *Laser*, com a Mira Horizontal de Invar apoiada goniometricamente à +- 3” por Estação Total e por rede de triangulação à +-3” com distâncias à +-2mm definidas também por Estação Total.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se um Teodolito Wild T2 n°. 307258 (com precisão angular nominal de 1" e leitura do décimo), uma Estação Total Robotizada Zeiss S20 [precisão nominal linear de $\pm (2\text{mm}+2\text{ppm})$ e angular de 3"], uma Mira Horizontal de Ínvar produzida pela antiga empresa óptica ZeissJena (modelo Bala 2m), um prisma refletor marca Trimble e um Interferômetro laser Hewlett Packard modelo 5508A , com precisão, nas condições em que encontra-se instalado no Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná LAIG-UFPR, de +- 0,010 mm (Figura 01).

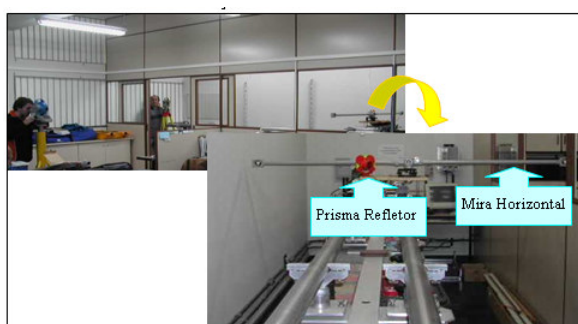


Figura 01 – Disposição dos equipamentos utilizados

2.1 – Mira Horizontal de Ínvar

2.1.1 – Calibração

A calibração da Mira Horizontal de Ínvar consiste em determinar o afastamento entre seus alvos extremos, utilizados para as pontarias feitas com o goniômetro horizontal , que é o acessório principal da mira (Figura 2). O alvo central da mira pode ser negligenciado das operações de calibração, uma vez que para a operação de pontaria da mira com respeito ao eixo de colimação do goniômetro, usou-se o acessório dióptico da mira, já previamente calibrado no Laboratório de Metrologia Geodésica da UFPE .

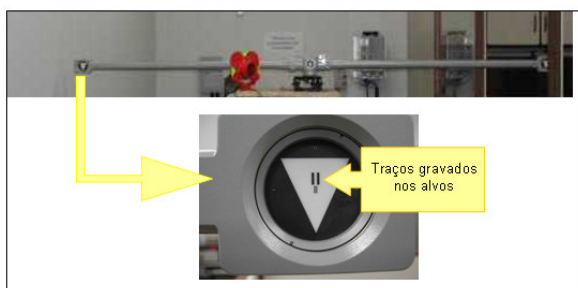


Figura 02 – Mira horizontal de ínvar

Utilizou-se o “Basímetro” do LAIG-UFPR fazendo-se uso do Interferômetro Laser como padrão de referência, para obter o afastamento entre os alvos extremos objetivando determinar o afastamento entre eles e comparar com o valor nominal, que é de dois metros dado pelo fabricante, e rastreado pelo calibrador do Studiengang Vermessungswesen da Faculdade de Neubrandenburg – SVFNeubr., em dezembro de 2006. Para tal, realizou-se um conjunto de medições utilizando-se como referência os traços maiores gravados nos alvos (Figura 02).

2.1.1.1 – Resultados

Para se obter o centro do alvo realizaram-se observações à direita e esquerda dos traços maiores, interna (i) e externamente (e). A tabela a seguir traz as medições e os resultados para a distância entre os alvos (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultado da calibração da mira horizontal [mm]

e1	i1	e2	i2	dif. Ext	dif. Int	Média	Difer.
536,6830	537,6890	2536,6830	2537,6900				
539,8900	538,8820	2539,8880	2538,8830				
538,2865	538,2855	2538,2855	2538,2865	1999,9990	2000,0010	2000,0000	0,0000
536,6820	537,6930	2536,6840	2537,6870				
539,8890	538,8770	2539,8780	2538,8850				
538,2855	538,2850	2538,2810	2538,2860	1999,9955	2000,0010	1999,9983	0,0017
536,6800	537,6900	2536,6820	2537,6820				
539,8950	538,8820	2539,8900	2538,8910				
538,2875	538,2860	2538,2860	2538,2865	1999,9985	2000,0005	1999,9995	0,0005
536,6890	537,6880	2536,6890	2537,6940				
539,8880	538,9100	2539,8890	2538,8980				
538,2885	538,2990	2538,2890	2538,2960	2000,0005	1999,9970	1999,9968	0,0013
536,7030	537,6870	2536,6870	2537,6920				
539,8960	538,8940	2539,8870	2538,8880				
538,2995	538,2905	2538,2870	2538,2900	1999,9875	1999,9995	1999,9935	0,0065
536,6990	537,6970	2536,6950	2537,6990				
539,8980	538,8940	2539,9030	2538,8910				
538,2985	538,2955	2538,2990	2538,2950	2000,0005	1999,9995	2000,0000	0,0000

Como se pode observar na tabela1, as diferenças encontradas quando se compara com o valor nominal com o valor obtido pelo processo de calibração, estão na casa do micrômetro. Assim sendo utilizou-se para os cálculos das distâncias teodolito mira o valor nominal de 2 metros.

2.1.2 – Determinação de Pequenos Intervalos de Distância Horizontal sobre os Trilhos do Basímetro

Primeiramente, colocou-se a Mira de Invar sobre a estrutura construída para se deslocar sobre os trilhos solidária ao refletor móvel do interferômetro (Figura 03).

A Mira foi horizontalizada rigorosamente com o auxílio do Teodolito T2 - que se estaciona no extremo oposto ao Interferômetro e ortogonalizada com o auxílio do dióptico pré-ajustado da Mira.

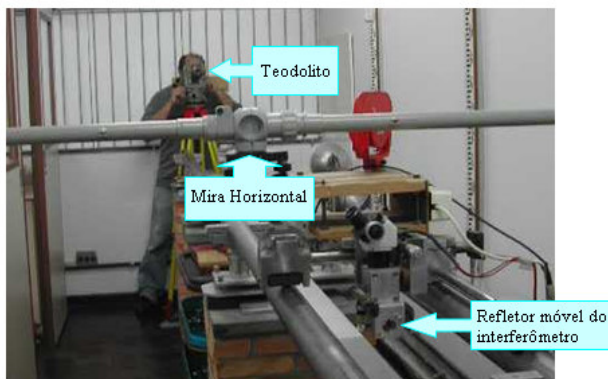


Figura 03 – Disposição dos equipamentos

O princípio do método consiste em medir as direções horizontais para os dois alvos da Mira Horizontal (direito e esquerdo), objetivando determinar o ângulo α (Figura 04). Sabendo o valor deste ângulo e a distância entre eles é possível determinar a distância Teodolito Mira utilizando a equação 1.

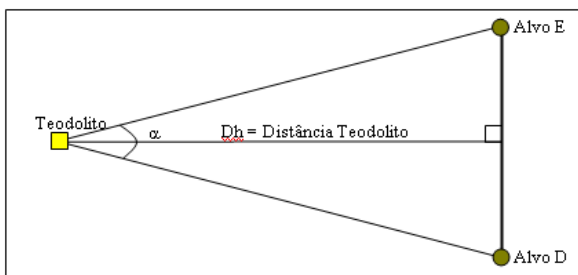


Figura 04 – Determinação da distância com mira horizontal de invar

$$Dh = \frac{1}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (1)$$

Na distância inicial, registrou-se no Interferômetro o valor 0,000 mm, realizou-se um conjunto de leituras angulares com Teodolito T2, em posição direta e invertida da luneta, buscando a determinação do ângulo α_1 e consequentemente o cálculo da distância Dh_1 . Posteriormente, deslocou-se o conjunto dos alvos (refletor

móvel do Interferômetro, Mira Horizontal de Invar e Prisma Refletor) de um valor aproximado de 30cm. Novamente determinou-se o ângulo α_2 , para a posição 2, calculando-se uma nova distância, agora Dh_2 .

O deslocamento da estrutura móvel com seus alvos pode ser dada pela diferença entre as distâncias obtidas na posição 1 e 2.

2.1.2.1 – Resultados

As observações goniométricas de direções horizontais obtidas com o Teodolito T2 encontram-se descritas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Observações realizadas com Teodolito T2 (posição inicial)

Direção esquerda	Direção direita	Ângulo horizontal(α)	média
9° 54' 20,5"	39° 41' 03,5"	29° 46' 43"	29° 46'
16° 47' 05"	46° 33' 49"	29° 46' 44"	43,5"

Aplicando-se a equação 1, para as observações realizadas na posição 1 do conjunto de dados (Tabela 2) obteve-se a distância: $Dh_1 = 3,761082976$ m

Para a nova posição, foram realizadas novas leituras das direções horizontais, tabela 2.

Tabela 3 – Observações realizadas com Teodolito T2 (posição 275,314 mm)

Direção esquerda	Direção direita	Ângulo horizontal(α)	média
19° 09' 16"	51° 10' 07,5"	32° 00' 51,5"	32° 00'
19° 09' 15"	51° 10' 08,5"	32° 00' 53,5"	52,5"

Aplicando-se a equação 1, agora para os dados da Tabela 3, obtém-se: $Dh_2 = 3,485740136$ m. Logo, para obter o deslocamento obtido entre as posições 1 e 2 basta subtrair a distância 2 da distância 1, como indicado na equação (2).

$$\Delta d_t = Dh_k - Dh_{k-1} \quad (2)$$

Onde:

Dh_2 = Distância obtida com a mira horizontal na posição $k=2$

Dh_1 = Distância obtida com a mira horizontal na posição $k=1$

Δd_t = t-ésimo intervalo determinado para $t = 1$

$$\Delta d_1 = 3,761082976 - 3,761082976 = 275,34284 \text{ mm.}$$

O deslocamento registrado com o interferômetro, para o mesmo intervalo foi de 275, 314 mm.

Um novo deslocamento da estrutura de alvos foi realizado e o valor registrado com o Interferômetro foi de 155,543 mm. Para esta posição, foram realizadas leituras das direções horizontais com um ângulo calculado de 31° 00' 08,5".

Com este valor, utilizando novamente a Equação 1, a distância calculada foi $Dh_3 = 3,605595017 \text{ m}$.

Com isso, o deslocamento para esta nova posição foi: $\Delta d_2 = 155,487 \text{ mm}$.

Na Tabela 4 apresenta-se a diferença entre os deslocamentos obtidos com o Interferômetro e a Mira Horizontal de Invar.

Tabela 4 – Resultados obtidos com Interferômetro e mira horizontal de invar com teodolito T2-MHIT2

Interferômetro	Teodolito T2-MHIT2	Diferença
155,543	155,487	0,056
275,314	275,342	0,028

É possível perceber que a diferença encontrada está na casa do centésimo do milímetro, demonstrando a viabilidade da utilização da Mira Horizontal de Invar para posicionamento de alta precisão.

2.2- Determinação do deslocamento utilizando triangulação

Na Figura 01, percebe-se, junto à estrutura onde estão colocados o refletor do Interferômetro e a Mira Horizontal de Invar um prisma refletor de cor vermelha utilizado para a determinação de distâncias e direções horizontais com a Estação Total Robotizada, objetivando a determinação do mesmo deslocamento medido com o interferômetro. A Figura 05 ilustra a metodologia utilizada, onde as duas posições 1 e 2 do conjunto móvel dos alvos -representadas pelas posições 1 e 2 do prisma refletor- é observada com medidas lineares e de direções a partir da Estação Total estacionada em tripé industrial (equipamento azul na Figura 1).

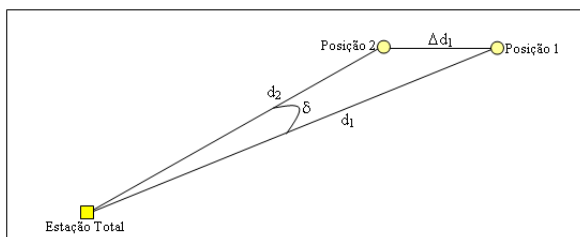


Figura 05 – Esquema da triangulação

Estas posições coincidem com os mesmos deslocamentos registrados com o Interferômetro, assim como os obtidos com a Mira Horizontal de Invar.

Conhecendo as distâncias d_1 e d_2 e o ângulo δ obtido a partir das direções horizontais, é possível, aplicando a equação 3, determinar o deslocamento do conjunto “Mira Horizontal/Refletor do Interferômetro/Refletor do Distanciômetro” dado por Δd_1 . Na seqüência, realizou-se novas observações para uma posição intermediária, tendo-se consequentemente um novo deslocamento.

A Tabela 5 traz as direções e distâncias obtidas para o prisma refletor na posição 1, 2 e 3 do conjunto que se desloca sobre os trilhos do Interferômetro.

Tabela 5 – Dados obtidos pela Estação Total

Posição do Prisma Refletor	Dir.horizantal (β_i)	Ângulo $\delta = \beta_i - \beta_{(i+1)}$	Dist. (m) d_i
1	85° 34' 48,8"	-	4,122
2	83° 45' 24,4"	1° 49' 24,39"	4,035
3	82° 18' 03,7"	3° 16' 44,54"	3,972

$$\Delta d_1 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \cos \delta \quad (3)$$

Na Tabela 6 apresenta-se os deslocamentos obtidos com as medições realizadas com a Estação Total e os mesmos deslocamentos medidos com o Interferômetro.

Tabela 6 – Deslocamentos Interferômetro e Estação Total

Deslocamento do Interferômetro [mm]	Deslocamento- Δd_1 [mm]
155,543	155,976
275,314	275,880

3 - RESULTADOS

Os resultados comparativos das calibrações da Mira Horizontal de Invar realizadas na SVFNeubr e no LAIG-UFPR apontam redundância para o centésimo do milímetro entre os sistemas de calibração.

Os resultados encontrados para os deslocamentos obtidos com a Mira Horizontal de Invar e com a Estação Total, quando comparados com os obtidos pelo Interferômetro do LAIG-UFPR, que foi considerado padrão, estão na ordem do centésimo e no décimo do milímetro respectivamente (Tabela 7). Estes resultados demonstram que as miras horizontais de invar, consideradas equipamentos obsoletos para muitos, quando operadas com bons goniômetros podem gerar, para

pequenas distâncias, precisão compatível ou maior do que as proporcionadas por estações totais, com as características técnicas da que foi testada.

Tabela 7 – Deslocamentos obtidos com os três métodos [mm]

Interf.	Mira Horiz.	Dif. 1	Est. S20	Dif. 2
155,543	155,487	0,056	155,976	0,433
275,314	275,342	0,028	275,880	0,566

NOTA: Dif.1= |Interf. – Mira |
Dif.2= |Interf. – Est.S20 |

Recomenda-se, com base nos experimentos, a continuidade dos estudos comparativos de calibração geodésica e a experimentação de distâncias maiores com a Mira Horizontal de Ínvar e goniômetros com precisões nominais diferentes.

REFERÊNCIAS

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. 2001. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná.

FAGGION, P. L. (1993). **Contribuição para a implantação de um sistema de aferição de miras de ínvar na UFPR**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba.

FAGGION, P. L. ; RESPONSÁVEL, E. E. C. ; FREITAS, R. C. . **Desenvolvimentos Recentes para a Implantação de Procedimentos de Calibração de Estações Totais**. In: Congresso Brasileiro Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000, Florianópolis. COBRAC-2000, 2000.

KAHMEN, H. FAÍG, W. (1988). **Surveyng** –New York: editora: de Gruyter, 578pp.

NADAL, Carlos Aurélio ; DE FREITAS, S. R. C. ; SANTOS FILHO, M. L. . **Aplicações de topografia de alta precisão no monitoramento de ensaio de vigas de aço em laboratório**. A Mira, Brasil, v. XI, n. 103, p. 47-49, 2001.

SILVA, T.F. (1985). **Einsatzmöglichkeiten polares Vermessungssystem für lokales geodynamisches Vorgang** . 112 f. Tese (Doktorarbeit in Messtechnik im Bauwesen) – Universität Hannover.