

# Comparación de las técnicas de medición sin reflector - laser y la intersección hacia adelante

Roosevelt DE LARA JR, Brasil y Jorge L. B. DA SILVA, Brasil

**Palabras claves :** MED, laser

## SUMMARY

Whereas various models of total stations are now equipped with electronic distance measurement (EDM) that operate without the need for reflectors (prisms / mirrors). This work intends to show the comparison two techniques of three-dimensional topographic positioning: a classic technique (direct intersection) and by laser without use of reflectors. Both techniques were applied simultaneously with the same references and targets in order to preserve the same environmental conditions and work. The two sets of observations generated were processed using two different procedures: a simple compensation and Least Squares Method (LSM). The four results allow to estimate the consistency of the electronic measurement of angles (EAM) and distances. Were also assessed the technical and operational limitations of the used methodology.

## RESUMO

Considerando que diversos modelos de estações totais atualmente são equipadas com medidores de distâncias eletrônicos (MED) que operam sem a necessidade de refletores (prismas/espelhos). Deseja-se neste trabalho realizar a comparação entre duas técnicas de levantamentos topográficos de posições tridimensionais: uma técnica clássica (interseção á vante) e por laser. As duas técnicas foram aplicadas simultaneamente, com os mesmos referenciais e alvos, de maneira a preservar as mesmas condições ambientais e de trabalho. Os dois grupos de observações gerados foram processados utilizando-se dois procedimentos distintos: por simples compensação e por Mínimos Quadrados (MMQ). Os quatro resultados obtidos permitem avaliar a consistência das medições eletrônicas de ângulos (MEA) e distâncias. Também se avaliou as limitações técnicas operacionais das duas diferentes metodologias de levantamentos.

# Comparación de las técnicas de medición sin reflector - laser y la intersección hacia adelante

Jorge L. B. DA SILVA, Brasil y Roosevelt DE LARA JR, Brasil

## 1. INTRODUCCIÓN

Ségun LOPEZ-CUERVO (1996), “ las estrechas vinculaciones que existen entre las ciencias de la Tierra: Topografía, Geodesia y Cartografía, han impuesto, desde la más remota antigüedad, su estudio conjunto, criterio que cobra especial relevancia en la actualidad ya que los logros científicos suelen comportar profundas revisiones en las tecnologías asociadas a estas áreas del conocimiento, y muy especialmente en el campo de la Topografía”. En este sentido, se desea presentar un breve estudio comparativo de la técnica bien conocida de posicionamiento topográfico mediante la intersección hacia adelante o directa, y radiación directa mediante el uso de estaciones totales que tienen MED (medidas electrónicas de distancias) que pueden operar sin la necesidad de un aparato específico reflector (prisma). Este tipo de equipo se ha vuelto cada vez más común y utilizado en los levantamientos más distintos en Topografía. Al no requerir la presencia real de un reflector en el punto de interés, la medición sin prisma nos permite medir puntos en zonas de difícil acceso o inaccesibles. La MED sin reflector permite trabajar de manera más eficiente en términos de tiempo y seguridad. Del punto de vista del trabajo en el campo, es evidente que una radiación simple con estación total que opera sin un prisma es muy rápido, pero hay que tener en cuenta que el equipo tiene limitaciones técnicas, es decir, las medidas de las distancias se se limitan al tipo de equipo utilizado. La mayoría de las estaciones totales de operación sin prisma, pueden medir distancias inferiores a 300 metros, hay modelos más sofisticados que pueden medir hasta 2 km. Por otro lado, la intersección directa requiere más trabajo en el campo, ya que requiere por lo menos dos estaciones y una base, sin embargo, no es teóricamente limitada en su alcance. Este artículo se divide de la siguiente manera: en primer lugar la introducción, la sección 2 se presenta una revisión breve de la literatura, en la sección 3 se presenta la metodología propuesta, la sección 4 está dedicada a la experimentación, la sección 5 presenta los resultados, la sección 6 está dedicada a las conclusiones y recomendaciones, finalmente se presentan las referencias.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1 Radiación Directa

La radiación directa (simple), se puede realizar a partir de dos puntos conocidos o un punto y una dirección de orientación (figura 1). La fórmula 6 se utiliza en el cálculo de la medición sin prisma.

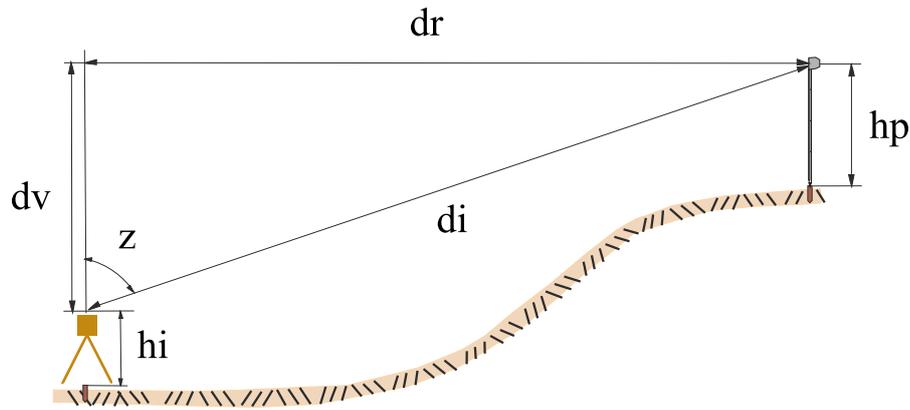


Figura 1 – Radiación Directa

$$X_B = X_A + dr_{ab} \cdot \text{sen} A z_{ab} \quad (1)$$

$$Y_B = Y_A + dr_{ab} \cdot \text{cos} A z_{ab} \quad (2)$$

$$Z_B = Z_A + dv_{ab} + hi_a - hp_b \quad (3)$$

$$dr_{ab} = di_{ab} \cdot \text{sen} z_{ab} \quad (4)$$

$$dv_{ab} = di_{ab} \cdot \text{cos} z_{ab} \quad (5)$$

$$Z_B = Z_A + dv_{ab} + hi_a \quad (6)$$

$X_{A,B}$ , abscisas de los puntos A y B;

$Y_{A,B}$ , ordenadas de los puntos A y B;

$Z_{A,B}$ , cotas de los puntos A y B;

$di_{ab}$ , distancia natural entre los puntos A y B;

$dr_{ab}$ , distancia reducida entre los puntos A y B;

$dv_{ab}$ , distancia vertical entre los puntos A y B;

$hi_a$ , altura del instrumento en A;

$hp_b$ , altura de la señal en B.

## 2.2 Ley de los Senos

Figura 2 y la fórmula 7, muestran las relaciones entre los ángulos y distancias se rigen por la Ley de los senos:

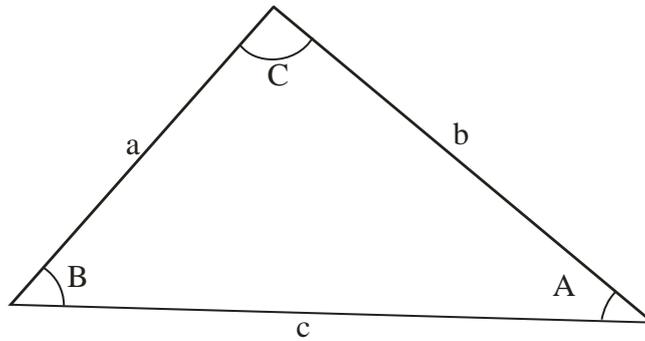


Figura 2 – Ley de los Senos

$$\frac{a}{\text{sen}A} = \frac{b}{\text{sen}B} = \frac{c}{\text{sen}C} \quad (7)$$

### 2.3 Método de Intersección directa (fórmulas de Young)

Estas fórmulas conocidas como fórmulas de Young permiten calcular las coordenadas del punto a determinar en función de las coordenadas de los vértices en que se hace estación y los ángulos observados. Su aplicación, exige mantener la nomenclatura que expresa la figura 3, o sea, la disposición de A respecto a B, tiene que estar en el sentido de las agujas del reloj (López-Cuervo, 1996).

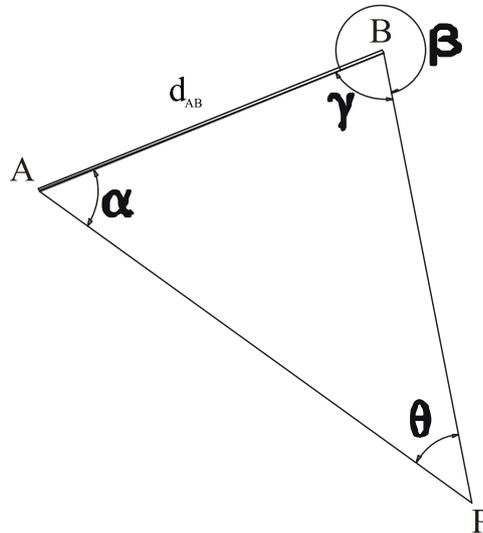


Figura 3 – Intersección Directa

$$X_P = \frac{X_A \cdot \text{ctg}\gamma + X_B \cdot \text{ctg}\alpha - Y_A + Y_B}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\gamma} \quad (8)$$

$$Y_P = \frac{Y_A \cdot \text{ctg}\gamma + Y_B \cdot \text{ctg}\alpha + X_A - X_B}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\gamma} \quad (9)$$

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Trabajo de campo

Como se ilustra en la Figura 4 se realizaron observaciones de ángulos y distancias necesarias para llevar a cabo las pruebas propuestas con el fin de utilizar los datos del levantamiento para calcular la posición tridimensional del punto P (radiación directa y la intersección directa).

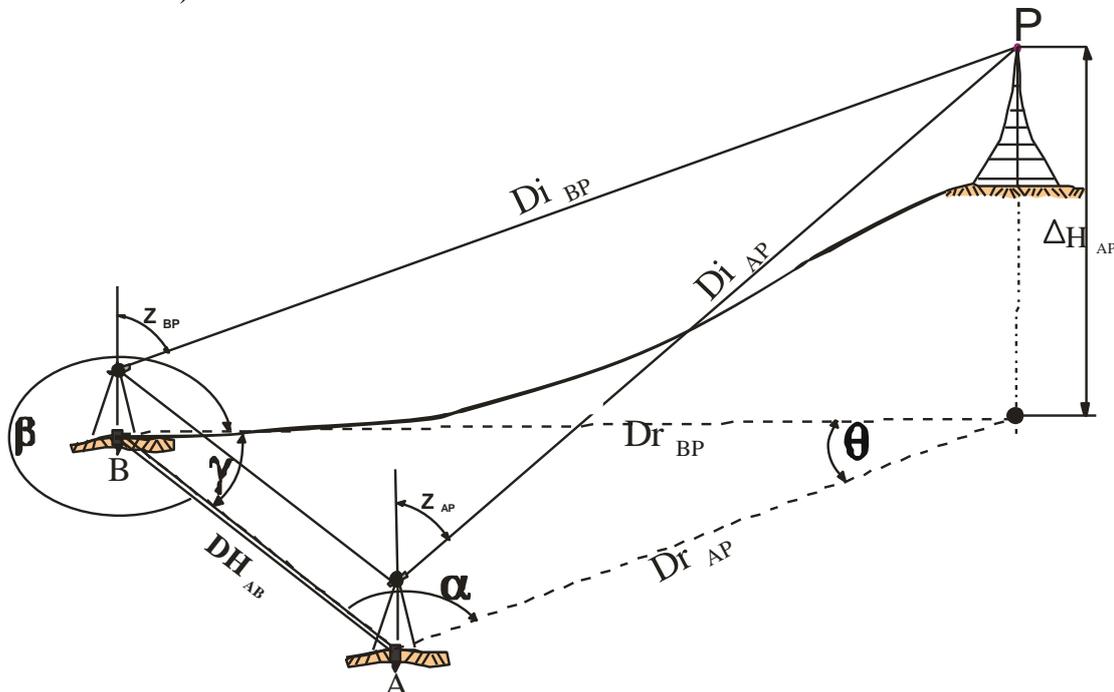


Figura 4 - Esquema de los trabajos de campo

#### 3.2 Procedimientos de cálculos

##### 3.2.1 Radiación Directa

Aplicación de las fórmulas 1 a 6 para el cálculo de las coordenadas del punto P. Las distancias usadas son las obtenidas usando la estación total que permite la medición de distancias sin el uso de reflector. Las observaciones se hicieron a partir de los puntos A y B. Se adoptó como el resultado la media de las coordenadas del punto P.

##### 3.2.2 Radiación Doble

La base AB se midió en el campo con estación total y el uso del reflector. Las distancias AP y BP se calcularon usando la ley de los senos. Estas distancias fueron utilizadas en la aplicación de la radiación doble.

##### 3.2.3 Intersección Directa

Las coordenadas del punto P se calcularon utilizando las fórmulas de Young.

## 4. EXPERIMENTACIÓN

Los experimentos se realizaron usando una estación total RTS 862R RUIDE que tiene las siguientes precisiones nominales:

Precisión lineal (utilizando Reflector) ..... + / - (2mm +2 ppm)  
Precisión lineal (no usando Reflector) ..... + / - (3mm +2 ppm)  
Precisión angular ..... + / - 2 "

- Medición de la base AB se realizó con el uso de reflector, la base se midió 10 veces desde A a B y de B a A 30 veces. La media de las 40 observaciones fue adoptada como el valor de la base AB.

- El punto P se irradió 52 veces (26 de cada uno de los puntos A y B).

- El estacionamiento de los equipos se realizó en el trípode (no se utiliza monumento dotado de centrado forzoso), como se muestra en la Figura 4.

- El punto P es un punto en un objeto curvo (por lo que no es un objeto o superficie ideales).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Radiación directa (sin reflector)

DP = desviación estándar

	E(m)	DPE	N(m)	DPN	h(m)	DPh
AP	488539,655	0,000	6672934,862	0,001	58,857	0,001
BP	488539,634	0,000	6672934,823	0,000	58,855	0,000
dif	0,021		0,039		0,003	
média	488539,644		6672934,843		58,856	

Tabla 1 - Resultados Radiación directa (sin reflector).

### 5.2 Radiación Doble (distancias calculado por la Ley de los seno)

	E(m)	DPE	N(m)	DPN	h(m)	DPh
AP	488539,584	0,000	6672934,883	0,000	58,849	0,000
BP	488539,660	0,000	6672934,837	0,000	58,837	0,001
dif	-0,076		0,046		0,012	
média	488539,622		6672934,860		58,843	

Tabla 2 - Resultados Radiación Doble (distancias calculado por la Ley de los senos).

### 5.3 Intersección Directa (fórmulas de Young)

	E(m)	DPE	N(m)	DPN
P	488539,670	0,000	6672934,780	0,000

Tabla 3 – Resultados Intersección Directa (fórmulas de Young).

### 5.4 Comparación entre los métodos empleados

		E(m)	N(m)	h(m)
5.1	Pméd	488539,644	6672934,843	58,856
5.2	Pméd	488539,622	6672934,860	58,843
5.3	P	488539,670	6672934,780	

Tabla 4 - Valores medios para cada método empleado.

Diferencia	E(m)	N(m)	h(m)
5.1-5.2	0,022	-0,017	0,013
5.1-5.3	-0,026	0,063	
5.2-5.3	-0,048	0,080	

Tabla 5 - Comparación entre los métodos empleados.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general, la análisis de las Tablas 1 a 5 muestran que las metodologías son equivalentes entre sí. La calidad interna del conjunto de observaciones es bastante homogénea. Porque las desviaciones estándar no excediera de 1 mm para todos los métodos desarrollados. En términos de discrepancias entre los experimentos, el método de irradiación directa con las distancias medidas sin el uso de reflector fue el experimento que demostró la menor discrepancia. En este estudio no fue posible aplicar el MMQ en ninguno de los experimentos. Aunque con desviaciones menores, ninguno de los conjuntos pasaron en las pruebas de normalidad. Esto se debe probablemente a la presencia de errores sistemáticos. Se supone que es poco probable la presencia de valores atípicos. Normalidad de los datos se verificó utilizando la prueba de Lilliefors (1967) a un nivel de confianza de 95%. ), es decir, teniendo en cuenta las distancias cortas y conducido en un corto período de tiempo puede haber sido una acumulación positiva o negativa (Anderson et Mikhail, 1998). Teniendo en cuenta la calidad de los equipos en términos de mediciones angulares (+ / - 2 ") y propagadas en distancias más pequeñas que 100 metros, lo que resulta en un error inferior a 1mm (Ghilani et Wolf, 2006). En el futuro, estos experimentos deben repetirse en condiciones controladas.

## REFERENCIAS

Anderson, J.M. et Mikhail, E.M. "Surveying: Theory and Practice". WBC/McGraw-Hill: 7<sup>th</sup> Edition. 1167p. 1998.

Ghilani, C.D. et Wolf, P.R. "Adjustment Computations: Spatial Data Analysis". Wiley: New York, 4<sup>th</sup> Edition. 611p. 2006.

Lilliefors, H. W. "On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown." *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 62, 1967, pp. 399–402.

López-Cuervo, S. "Topografía". Ediciones Mundi-Prensa: 2ed. 474p. 1996.

## CONTACTOS

Dr. Roosevelt De Lara Jr.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Avenida Bento Gonçalves 9500 – Prédio 43136 - Sala 112  
Campus do Vale – Agronomia  
CEP 91501-970  
Porto Alegre, Rio Grande do Sul  
BRASIL  
Tel. +55 51 3308-6354  
Fax + 55 51 3308-7302  
Email: [rooseveltdelara@ufrgs.br](mailto:rooseveltdelara@ufrgs.br)

Dr. Jorge L. B. Da Silva  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Avenida Bento Gonçalves 9500 – Prédio 43136 - Sala 109  
Campus do Vale – Agronomia  
CEP 91501-970  
Porto Alegre, Rio Grande do Sul  
BRASIL  
Tel. +55 51 3308-7394  
Fax + 55 51 3308-7302  
Email: [jorge.silva@ufrgs.br](mailto:jorge.silva@ufrgs.br)

## ANEXO

RUIDE 862R	Zenital		
	E(m)	N(m)	h(m)
R3	488525,648	6673013,501	54,269
R4	488501,693	6672979,975	53,252

	hi=1,555			
R3 = R	H	z	di	hp
R4 = V	0°00'00"	91°23'19"	41,217	1,573
100	314°21'13"	87°49'32"	79,934	0
101	314°21'12"	87°49'34"	79,932	0
102	314°21'13"	87°49'32"	79,932	0
103	314°21'14"	87°49'32"	79,934	0
104	314°21'14"	87°49'33"	79,933	0
105	314°21'14"	87°49'32"	79,934	0
106	314°21'14"	87°49'32"	79,934	0
107	314°21'14"	87°49'32"	79,934	0
108	314°21'14"	87°49'33"	79,934	0
109	314°21'15"	87°49'32"	79,934	0
110	314°21'14"	87°49'33"	79,934	0
111	314°21'14"	87°49'33"	79,934	0
112	314°21'14"	87°49'34"	79,934	0
113	314°21'14"	87°49'31"	79,933	0
114	314°21'13"	87°49'30"	79,934	0
115	314°21'14"	87°49'30"	79,934	0
116	314°21'14"	87°49'29"	79,935	0
117	314°21'14"	87°49'28"	79,935	0
118	314°21'14"	87°49'26"	79,935	0
119	314°21'14"	87°49'27"	79,935	0
120	314°21'13"	87°49'28"	79,934	0
121	314°21'13"	87°49'29"	79,933	0
122	314°21'13"	87°49'28"	79,933	0
123	314°21'13"	87°49'27"	79,934	0
124	314°21'13"	87°49'28"	79,932	0
125	314°21'13"	87°49'28"	79,932	0
2	359°59'53"	91°23'23"	41,217	1,573
3	359°59'53"	91°23'23"	41,217	1,573
4	359°59'54"	91°23'23"	41,217	1,573
5	359°59'53"	91°23'23"	41,217	1,573
6	359°59'53"	91°23'23"	41,218	1,573
7	359°59'53"	91°23'23"	41,217	1,573
8	359°59'53"	91°23'24"	41,218	1,573
9	359°59'54"	91°23'23"	41,218	1,573
10	359°59'54"	91°23'23"	41,218	1,573
	hi=1,623			
R4 = R	H	z	di	hp
R3 = V	0°00'00"	88°45'11"	41,216	1,505
11	0°00'01"	88°45'17"	41,214	1,505
12	0°00'02"	88°45'11"	41,215	1,505
13	0°00'01"	88°45'11"	41,215	1,505
14	0°00'02"	88°45'11"	41,215	1,505
15	0°00'01"	88°45'11"	41,216	1,505
16	0°00'01"	88°45'11"	41,216	1,505
17	0°00'01"	88°45'11"	41,216	1,505
18	0°00'01"	88°45'11"	41,216	1,505
19	0°00'01"	88°45'11"	41,216	1,505
20	0°00'01"	88°45'11"	41,215	1,505
200	104°24'48"	86°08'25"	59,109	0
201	104°24'48"	86°08'25"	59,109	0
202	104°24'48"	86°08'25"	59,109	0

203	104°24'48"	86°08'24"	59,109	0
204	104°24'48"	86°08'24"	59,109	0
205	104°24'48"	86°08'23"	59,11	0
206	104°24'48"	86°08'24"	59,11	0
207	104°24'48"	86°08'24"	59,11	0
208	104°24'48"	86°08'23"	59,11	0
209	104°24'48"	86°08'23"	59,11	0
210	104°24'48"	86°08'23"	59,11	0
211	104°24'48"	86°08'23"	59,11	0
212	104°24'48"	86°08'23"	59,11	0
213	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
214	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
215	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
216	104°24'48"	86°08'22"	59,109	0
217	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
218	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
219	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
220	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
221	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
222	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
223	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
224	104°24'48"	86°08'22"	59,11	0
225	104°24'48"	86°08'22"	59,111	0
250	0°00'06"	88°45'15"	41,214	1,505
251	0°00'06"	88°45'11"	41,214	1,505
252	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
253	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
254	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
255	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
256	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
257	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
258	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
259	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
260	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
261	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
262	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
263	0°00'06"	88°45'13"	41,215	1,505
264	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
265	0°00'06"	88°45'13"	41,215	1,505
266	0°00'06"	88°45'13"	41,215	1,505
267	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
268	0°00'06"	88°45'13"	41,214	1,505
269	0°00'06"	88°45'13"	41,215	1,505
270	0°00'06"	88°45'13"	41,215	1,505
271	0°00'06"	88°45'14"	41,215	1,505
272	0°00'06"	88°45'13"	41,214	1,505
273	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
274	0°00'06"	88°45'13"	41,215	1,505
275	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
276	0°00'06"	88°45'11"	41,215	1,505
277	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
278	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505
279	0°00'06"	88°45'12"	41,214	1,505
280	0°00'06"	88°45'12"	41,215	1,505