

# SISTEMA DE POSICIONAMENTO DE PONTOS INACESSÍVEIS UTILIZANDO ESTAÇÃO TOTAL

MARIA DE LOURDES DE AQUINO MACEDO GONÇALVES  
PEDRO LUIS FAGGION

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG  
{mlaquino, faggion}@ufpr.br

The topography comes across with diverse problems, amongst them the lack of visibility of points to be studied. In this work a positioning methodology is presented in 3D using a mirror to allow the visibility of inaccessible points by means of the reflection. First, the coordinates were calculated using the topographical calculations standard, these coordinates are being used as reference for others surveys. In the second stage, the survey of these points was fulfilled using its reflection surface (SR) and its coordinates defined using trigonometry concepts, vectorial algebra, transformation of systems, and optics. The tests had been executed in the Laboratory of Geodesic Instrumentation of the UFPR.

## 1 INTRODUÇÃO

Os levantamentos topográficos em geral deparam-se com diversos problemas, tais como: dificuldade de visibilidade entre o objeto e a estação de instalação do equipamento; o objeto de estudo possuir um formato que impossibilite a visibilidade de alguns de seus pontos; ambientes confinados com altas temperaturas entre outros. Estes fatores podem interferir nos resultados.

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia de posicionamento 3D de pontos inacessíveis, ou seja, pontos que não são visíveis do ponto ocupado pela estação total (ET). A metodologia baseia-se na fundamentação da topografia tridimensional, sendo necessária para tal a medição de direções horizontais, ângulos zenitais, distâncias, e na álgebra vetorial para determinação das coordenadas do ponto inacessível.

Os testes foram realizados no Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR, utilizando-se uma ET e uma superfície de reflexão total (SR) a qual permitiu desviar a visada e com isso observar pontos inacessíveis utilizando as técnicas tradicionais de topografia.

## 2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta metodologia de posicionamento, que envolve conceitos de óptica, trigonometria, geometria, álgebra vetorial e transformação de sistemas, foi necessário o desenvolvimento de alguns acessórios que possibilitem o desvio da visada e com isto obter as coordenadas dos pontos inacessíveis.

### 2.1 Equipamentos

#### 2.1.1 Espelho

Os espelhos são produzidos a partir da deposição de metais, tais como prata, alumínio ou cromo, sobre uma face do vidro. Este espelhamento está posicionado na parte posterior do vidro.

Para minimizar o fenômeno de refração que ocorre quando a luz atravessa diferentes meios (ar e vidro), utilizou-se um espelho em que o vidro serve somente como um anteparo para a camada refletora, ou espelhamento frontal, aos leitores mais interessados recomenda-se GONÇALVES, 2007.

A viabilização da aplicação desta técnica passa pela determinação da atitude da SR. Para tal, foram gravados quatro pontos ortogonais entre si. Estas marcas foram utilizadas também para materializar o sistema de eixos do espelho (figura 1).

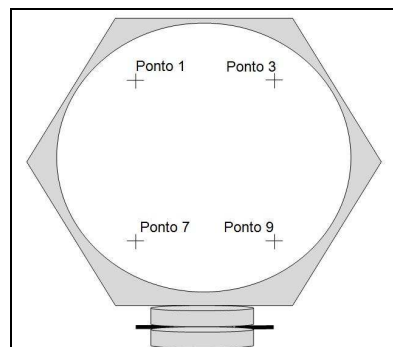


Figura 1 – Marcas gravadas no espelho

2.1.2 Estação total

Estação total é um equipamento constituído por um teodolito eletrônico (medida de direções horizontais e ângulos zenitais), um distânciômetro eletrônico (medida de distâncias) e um processador matemático (VEIGA, ZANETTI E FAGGION, 2007). Na Figura 2 mostra-se a estação total utilizada.



Figura 2 – Estação total Leica TCRA 1205

2.2 Realização das Medições

Foram realizadas medições de distâncias inclinadas, direções horizontais e ângulos zenitais entre a estação origem (ponto ocupado pela estação total), o espelho e os pontos que se pretendem determinar as coordenadas.

2.3 Levantamentos realizados

Para a obtenção das coordenadas do ponto de interesse foram necessários três sistemas de referência:

- a) sistema principal – tem como origem o ponto ocupado pela ET. O eixo Y é definido pelo alinhamento formado entre a origem e o ponto de orientação do equipamento, o eixo X é perpendicular ao eixo Y e o eixo Z coincidente com a vertical local. Na Figura 3 apresenta-se por X, Y e Z;

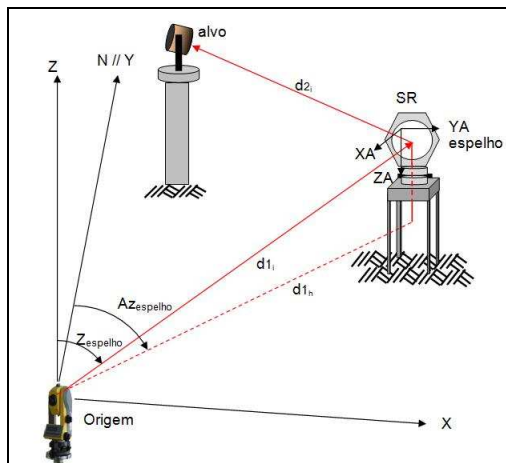


Figura 3 – Sistemas de Referência Principal e Espelho A

- b) sistema espelho A – tem como origem o ponto 1. O eixo Y é materializado pelo alinhamento entre os pontos 1 e 3, o eixo Z pelo alinhamento dos pontos 1 e 7 e o eixo X é perpendicular ao plano YZ. Na Figura 3 está representado por XA, YA e ZA;
- c) sistema espelho B – tem seus eixos paralelos aos eixos do sistema do espelho sendo a origem transladada para o ponto definido como espelho (ponto virtual na SR no momento da visualização do ponto de interesse pela ET). Na Figura 4 representado por XB, YB e ZB.

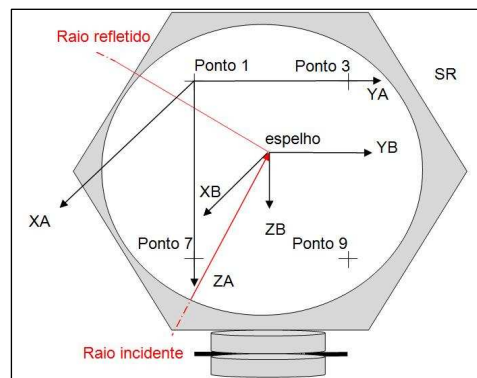


Figura 4 – Sistema espelho A e B

2.3.1 Determinação das coordenadas de referência

O primeiro levantamento realizado objetivou a determinação das coordenadas dos alvos de forma direta sem a utilização da estação intermediária (*espelho*) ocupada pela SR, estas serão utilizadas como referência para a validação do método que está sendo proposto (figura 5).

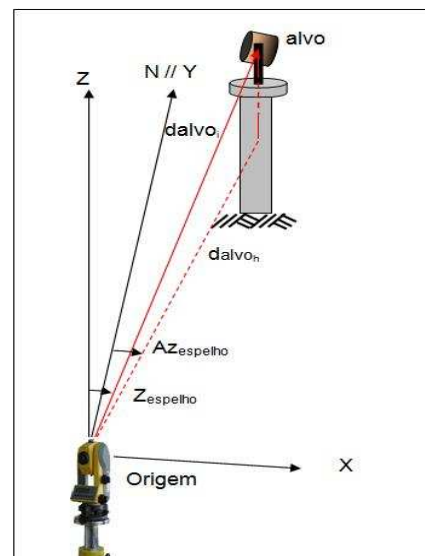


Figura 5 – Determinação de coordenadas de referência

### 2.3.2 Determinação das coordenadas utilizando o sistema de espelhos

O mesmo alvo utilizado no método anterior foi mensurado utilizando a SR. Para tal, foi necessário determinar a atitude do espelho no espaço foram utilizando os quatro pontos materializadas na SR. Com estes determinou-se o plano do espelho e também os parâmetros para a transformação do sistema principal, utilizado no levantamento anterior, para o sistema do espelho A.

Na Figura 6 observa-se que a distância medida entre a origem e o alvo será a soma das distâncias  $d_{1i}$  e  $d_{2i}$ , ou seja, o sinal que parte da estação total chega ao SR que o reflete até atingir o alvo, retornando à estação total pelo mesmo percurso. Conhecendo o plano definido pela superfície refletora é possível determinar a posição do alvo, ou seja, as coordenadas tridimensionais do ponto em estudo.

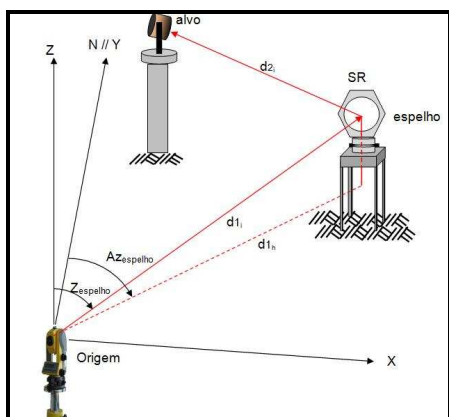


Figura 6 - Levantamento do ponto de interesse

Na Figura 6:

- alvo – ponto de interesse;
- espelho – ponto de interseção da linha de colimação com a SR;
- $d_{1i}$  – distância inclinada do ponto *origem* e o ponto *espelho*;
- $d_{2i}$  – distância inclinada entre o *espelho* e o ponto de interesse *alvo*;
- $Az_{espelho}$  – azimute do ponto *espelho*;
- $Z_{espelho}$  – distância zenital do ponto *espelho*;

### 2.4 Desenvolvimento matemático

Para obter as coordenadas X, Y e Z dos pontos 1, 3, 7 e 9, foi necessário realizar medições de distância, direções horizontais e ângulos zenitais da estação para os mesmos. Na seqüência estas coordenadas foram transformadas inicialmente para o sistema espelho A e posteriormente para o sistema espelho B. As coordenadas do ponto origem (origem do sistema principal) também

foram transformadas para estes dois sistemas de referência.

Para transformar as coordenadas dos pontos do sistema principal para o sistema do espelho aplicou-se a transformação afim utilizando cinco pontos com coordenadas conhecidas nos dois sistemas: ponto 1; ponto 3; ponto 7; ponto 9 e o ponto que é origem do sistema principal.

As coordenadas do ponto origem do sistema principal no sistema espelho A foram calculadas a partir das projeções do vetor que inicia no ponto 1 (origem do sistema de referência espelho A) e termina no ponto origem (origem do sistema de referência principal) nos eixos do sistema de referência espelho A.

A lei da reflexão mostra que a posição de um ponto refletido por um espelho é simétrica à posição verdadeira deste, ou seja, possui a mesma direção vertical e horizontal. A Figura 7 nos mostra o plano do espelho visto de cima e esta simetria do raio incidente (ponto origem – ponto espelho) e refletido (ponto espelho – alvo).

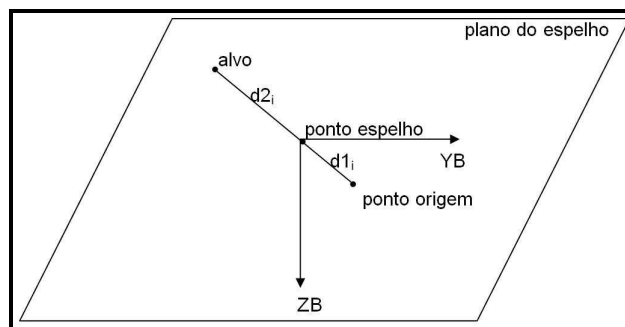


Figura 7 – Plano do espelho

Para calcular as coordenadas do alvo foram executadas as etapas a seguir:

- cálculo das coordenadas do ponto espelho;
- cálculo do azimute e ângulo vertical do alinhamento definido pelo ponto espelho e a origem;
- cálculo das coordenadas de um ponto auxiliar denominado alvo auxiliar, o qual possui o azimute e o ângulo vertical obtidos na etapa anterior e a distância que foi medida entre o ponto espelho e o alvo ( $d_{2i}$ );
- transformação das coordenadas do alvo auxiliar do sistema principal para o espelho A e seqüencialmente para o sistema espelho B;
- reflexão do alvo auxiliar;
- cálculo das coordenadas do alvo retornando ao sistema principal.

### 3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos testes executados até o momento demonstram a viabilidade do método proposto. Os passos seguintes da pesquisa indicam a necessidade do desenvolvimento de um suporte para com movimento vertical e horizontal para a SR.

### BIBLIOGRAFIAS CONSULTADA

HALLIDAY, D., RESNICK, R., MERRILL, J. **Fundamentos de física: ótica e física moderna**. 4ª edição. Tradução: Denise Helena da Silva Sotero et al. Rio de Janeiro: Livros Técnico e Científicos, 1995. 355 p.

NADAL, C. A., MORAES C. V. Análise dos erros em medições de direção angular. In: **Congresso Brasileiro de Agrimensura**. 10, Crisciúma: Anais do X Congresso Brasileiro de Agrimensura Crisciúma, v.1, p.65-71, 1999.

CESAR, C. D. D. **Curso elementar de física – tomo IV**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1966. 144 p.

GONÇALVES, M. L. A. M. **Posicionamento tridimensional de pontos inacessíveis utilizando-se técnicas topográficas e reflexão total**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Seminário de qualificação.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. **Física – parte II**. Tradução: Euclides Cavallari e Bento Afini Júnior. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico. 1966. 1440 p.

RIGHETTO, A. **Vetores e geometria analítica**. 3ª edição. São Paulo: IBEC, 1982. 227 p.

VALLADARES, R. J. C. **Geometria analítica: a álgebra e a geometria do plano e do espaço**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1990. 344 p.

VEIGA, L. A. K., ZANETTI, M. A. Z., FAGGION, P. L., **Fundamentos de topografia**. Curitiba, 2007. 205 p. Apostila Disciplina de Topografia. Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

VENTURI, J. J. **Álgebra vetorial e geometria analítica**. 3ª edição. Curitiba: Scientia et Labor-UFPR. 1990. 215 p.