

MÉTODO PARA O MONITORAMENTO DE PONTOS EM ÁREAS INSTÁVEIS ¹

A method to be used while monitoring points in unstable areas

FABIANI ABATI MIRANDA
PEDRO LUIS FAGGION
LUÍS AUGUSTO KOENIG VEIGA

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – CPGCG / UFPR
Caixa Postal 19001, CEP 81531-970, Curitiba, Paraná, Brasil.
{fabi.miranda, faggion, kngveiga}@ufpr.br

RESUMO

Vários estudos estão sendo realizados com o intuito de caracterizar e validar técnicas de posicionamento para monitorar variações nas coordenadas de pontos de interesse. Parte disso se deve a grandes desastres acontecidos em áreas instáveis nos últimos anos, onde o posicionamento faz parte das ferramentas utilizadas para priorizar as ações necessárias ao restabelecimento das condições de estabilidade e segurança. Diante disso, o que se propõe nesse artigo é apresentar um método de posicionamento que possa ser empregado no monitoramento de áreas instáveis. Para tanto, um experimento foi realizado aplicando-se o conceito de Método de Relação da Linha de Referência - para correções das distâncias, com o da utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade de pontos de referência ocupados com a Estação Total. Pode-se verificar que o método proposto é viável, pois ao se comparar as coordenadas obtidas com a aplicação desse método com as conhecidas, as diferenças encontradas foram da ordem de milímetros. Logo, para fins de levantamentos topográficos, os resultados foram considerados satisfatórios, visto que tais diferenças encontram-se dentro da precisão nominal do equipamento.

Palavras-chaves: Correções Atmosféricas; Método de Relação da Linha de Referência.

¹ Uma versão prévia deste trabalho foi apresentada no II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.

ABSTRACT

Several studies have been carried out aiming the characterization and validation of techniques for performing monitoring survey. Such interest is mainly due to the disasters occurred in the last years, where monitoring survey is one of the tools used to define the actions that need to be carried out to restore the stability and security conditions in the affected region. Taking this into account, in this article a methodology that can be used in the monitoring of unstable areas is presented. In such way, an experiment was accomplished through applying the concept of Reference Line Ratio Method - for corrections of the distances, and with the use of control points to verify with the Total Station the stability of the occupied reference points. It appears that the proposed method is feasible, because when you compare the obtained coordinates with the known ones, the differences were of the order of few millimeters. Therefore, for topographical surveys, the results can be considered satisfactory, since such differences are within the nominal accuracy of the equipment.

Keywords: Atmospheric Corrections; Reference Line Ratio Method.

1. INTRODUÇÃO

A precisão, versatilidade e capacidade para verificação e análise da qualidade fazem com que as medidas obtidas com levantamentos utilizando equipamentos como Estações Totais, tornem-se uma opção no monitoramento de deslocamentos (CHEN, 1983). Entretanto, muitos fatores afetam a qualidade das medições com uma Estação Total, tais como: fatores ambientais, métodos de posicionamento, disposição dos pontos, entre outros; e por sua vez, causam influência na análise de possíveis deslocamentos. Segundo Miranda et al. (2007), um dos principais problemas na análise de deslocamentos é a confirmação da estabilidade dos pontos de referência, a partir dos quais são realizadas as observações.

Usualmente as Estações Totais são instaladas em pilares de centragem forçada ou em locais que garantam a estabilidade do instrumento, sendo posteriormente niveladas para alinhar seu eixo principal com a direção da gravidade local. Atenção é depositada para selecionar somente lugares estáveis, para garantir que as coordenadas obtidas da estação permaneçam em uma rede de referência consistente para simplificar a detecção de movimento nos pontos monitorados (VAN CRANENBROECK e BROWN, 2004).

Todavia, na prática, em diversos lugares esta condição não é completamente cumprida, pois em alguns casos o equipamento não pode ser instalado em uma área considerada estável. Se essa instabilidade não for detectada, isto é, se forem utilizados pontos de referência que são erroneamente assumidos estáveis, isso pode resultar num deslocamento tendencioso podendo, então, levar a uma interpretação errônea do que está acontecendo realmente com o objeto monitorado.

Tendo em vista a precisão exigida na determinação de coordenadas, já que os deslocamentos a serem determinados podem ser da ordem de milímetros, outra

precaução a ser tomada refere-se às variações nas condições atmosféricas, que causam um aumento ou diminuição na velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, erros sistemáticos nas medidas de distâncias. A correção desse efeito se faz através da tomadas dos valores de pressão e temperatura durante cada medida de distância ou por meio da aplicação de um fator de escala obtido pelo Método de Relação da Linha de Referência (MIRANDA, 2007).

Dentro desse contexto, esse artigo caracteriza-se pela proposição de um método de monitoramento que integra os conceitos do Método de Relação da Linha de Referência com a utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total, garantindo assim precisão nas medidas angulares e lineares no monitoramento de pontos.

2. MONITORAMENTO GEODÉSICO

2.1 Método de Relação de Comprimentos

Experimentos realizados por Robertson (1972) e Angus-Leppan (1972), mostraram que os comprimentos de pares de linhas, simultaneamente observados de um ponto comum, estão sujeitos a erros sistemáticos semelhantes devido a incertezas nos parâmetros meteorológicos. Isso deu origem ao conceito central do Método de Relação de Comprimentos (CROSS, 1976); observando que os perfis do terreno e a s condições de superfície nas linhas sejam semelhantes. Exemplificando: assumindo que estes erros são aproximadamente proporcionais aos comprimentos das linhas, na relação de dois comprimentos medidos da mesma estação ao mesmo tempo, a maior parte deste erro sistemático é eliminada, contanto que os perfis do terreno e as condições de superfície nas linhas sejam semelhantes, este é o conceito central desse método.

Esse conceito deu origem a várias publicações e dependendo do método de aplicação, foram definidos vários nomes: uso de pares de linhas, relações de comprimento, observação de trilateração em pares, relação da linha de referência. Neste trabalho, foi adotado o Método de Relação da Linha de Referência que consiste na medida de distância entre alguns pontos fixos, onde a distância é conhecida de forma que um fator de escala possa ser calculado diretamente e empregado para corrigir as medidas restantes.

2.2 Método de Relação da Linha de Referência

As medidas de distâncias determinadas com Estações Totais sofrem influência de diversos fatores dentre eles, a refração e erro de escala. Esses podem ser minimizados entre duas épocas de levantamentos, sem que seja necessário o cálculo de correções, pela aplicação do Método “Relação da Linha de Referência”.

Segundo Robertson (1972 e 1977), Angus-Leppan (1972 e 1979) e US Army (2002), este método baseia-se no fato de que medidas de distâncias observadas nos

comprimentos de linhas e nas condições atmosféricas semelhantes são igualmente afetadas pela refração. Se as medidas são observadas inicialmente entre duas estações de controle (linha de referência) separadas por uma distância conhecida, da relação entre a distância medida e a conhecida resultará num fator de escala.

A distância para qualquer outra estação poderá ser corrigida em função da escala determinada para a linha de referência. Isso também é válido para levantamentos realizados em qualquer época posterior, onde as condições atmosféricas serão diferentes, mas a relação entre a linha de referência e a linha medida poderá ser usada para encontrar mudanças nas relações de suas distâncias. Sendo assim, não é necessário determinar explicitamente o erro de escala ou índice de refração do equipamento ao usar este método (US ARMY, 2002).

2.3 Uso de Pontos de Controle para Verificar a Estabilidade de Pontos de Referência Ocupados Com a Estação Total

Com o advento do reconhecimento automático de alvos em Estações Totais, o uso de medidas polares para o monitoramento de deslocamentos em estruturas, minas, superfícies naturais, dentre outros, tornou-se mais difundido (VAN CRANENBROECK e BROWN, 2004).

Para simplificar a detecção de movimento dos alvos monitorados, as Estações Totais são instaladas em locais que possam garantir que as coordenadas obtidas permaneçam em uma rede de referência consistente. Caso contrário, os deslocamentos calculados desses pontos de interesse, bem como, a análise e interpretação do deslocamento desses alvos pode sofrer distorções significativas.

Segundo Van Cranenbroeck e Brown (2004), contorna-se tal dificuldade, por meio de um conjunto de pontos de controle, distribuídos ao redor da área, os quais são utilizados para monitorar a posição do instrumento. A partir de medições nos pontos de controle, considerados estáveis, é possível calcular valores de translação e rotação (deslocamento) em relação a uma posição inicial do instrumento. Pontos de controle são usados, portanto, para conferir o ciclo completo de medidas e impor confiabilidade.

Se várias Estações Totais são utilizadas para aumentar a cobertura ou a confiabilidade, os pontos de controle são também usados para ligar todas as estações a uma rede de referência comum. Para uma única Estação Total, o problema é simplesmente uma transformação 3D, conhecida como transformação de Helmert. Quando são utilizadas várias estações para levantar todos os pontos de interesse, o único modo para evitar a multiplicação de pontos de controle é fazer uso de pontos comuns (conexão). São acrescentados parâmetros ao modelo matemático que relaciona as medidas aos pontos comuns para a transformação (VAN CRANENBROECK e BROWN, 2004).

3. METODOLOGIA

Com o intuito de se propor um método que possa ser utilizado para o monitoramento de pontos em áreas instáveis, foi empregada uma metodologia que integra o conceito do Método de Relação da Linha de Referência (para correção das distâncias) com o conceito da utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total.

Segundo Miranda (2007), no Método de Relação da Linha de Referência, as medidas de temperatura e pressão só precisam ser feitas a primeira vez que um projeto é levantado, e somente quando forem observadas distâncias em linhas de referência, ou seja, as únicas medidas de parâmetros ambientais utilizadas para a aplicação desse método são as realizadas na linha de referência, no primeiro dia de levantamento.

O primeiro passo para aplicação desse método consiste na correção do índice de refração da linha de referência, isso deve ser feito a fim de dar a escala apropriada à figura. Esta correção é obtida através da aplicação das fórmulas adotadas pelo IUGG, citadas em Rüeger (1996). Depois da distância da linha de referência ser corrigida, a mesma deve ser horizontalizada.

Sendo o comprimento corrigido da linha de referência D_{cor} e o comprimento observado da mesma linha D_{obs} , a seguinte equação pode ser escrita:

$$D_{cor} = D_{obs} \cdot k \quad (1)$$

onde:

k - constante devido às condições atmosféricas ao longo da linha de referência.

O passo seguinte consiste na redução ao plano das demais distâncias observadas, tem-se que:

$$D_h = D_i \cdot \text{sen } z. \quad (2)$$

onde:

D_h - distância horizontal;

D_i - distância inclinada;

z - ângulo zenital

Como a linha de referência atravessa aproximadamente a mesma atmosfera que as demais linhas medidas, k também é uma constante atmosférica para essas outras linhas. Se P_{obs} for o comprimento observado sobre os demais pilares, então, P_{cor} pode ser encontrado por:

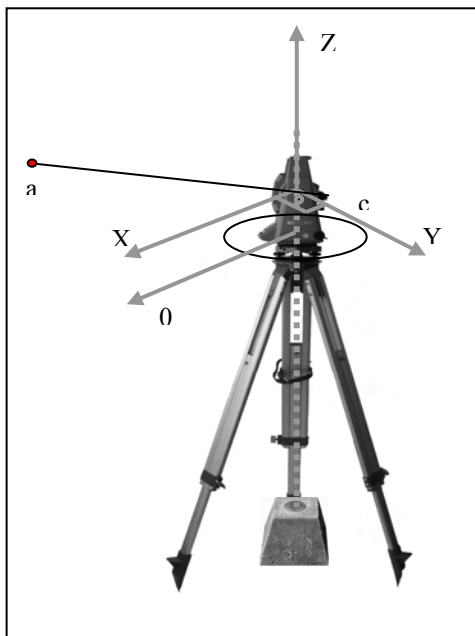
$$P_{cor} = P_{obs} \cdot k \quad (3)$$

Esta técnica permite corrigir o índice de refração sem usar equipamentos que medem temperatura e pressão. Porém, k exatamente não é uma constante, pois muda lentamente com o tempo, por isto, deve ser remedido a aproximadamente um intervalo de 30 minutos, e deve ser assumido que muda numa forma linear (US ARMY, 2002).

Após a correção das distâncias, parte-se para a verificação da estabilidade da posição do equipamento. Sabe-se que o controle geométrico e o monitoramento do objeto de estudo, somente serão possíveis quando os sistemas de referência forem devidamente definidos (SEIXAS, 2005). Uma vez escolhido um sistema de referência, não é possível obter de forma direta coordenadas de pontos sobre o mesmo, uma vez que se utilizam instrumentos os quais realizam medições em relação a um sistema interno, denominado de sistema de coordenadas instrumentais. O ponto teórico de origem deste sistema é denominado de ponto cardã (NADAL, 2000).

Seja uma Estação Total, onde se pode associar ao centro do instrumento (c) um sistema de eixos cartesianos ortogonais mostrados na Figura 1. O eixo dos z coincide com o eixo principal da estação, o eixo dos x contido no plano do horizonte paralelo a direção zero graus do limbo horizontal e o eixo dos y perpendicular ao eixo dos x no sentido dextrógiro ou levógiro conforme o selecionado no sistema de leituras. O plano xy deve conter o eixo de basculamento da luneta, também denominado de eixo secundário (y). A linha de visada materializará uma direção medida no terreno.

Figura 1 – Sistemas de Coordenadas Instrumental.



Ter-se-á ainda condições intrínsecas de associação deste sistema à superfície terrestre, quais sejam: o eixo principal da estação deve coincidir com a vertical do lugar, o plano xy do sistema deve ser horizontal e a linha de visada (ca) deve ser uma reta e coincidir com o eixo óptico da luneta (NADAL, 2000).

Três eixos (retas orientadas) ortogonais entre si formam um sistema de coordenadas tridimensionais ortogonal, que serve para posicionar um ponto topográfico, isto é, fornecer coordenadas espaciais que definam a posição deste ponto no espaço.

Um ponto fica de forma única definido no espaço através de suas coordenadas cartesianas ortogonais (X, Y, Z), sendo X denominada de abscissa, Y denominada de ordenada e Z denominada de cota.

Nos sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionais trabalha-se com coordenadas polares, muitas vezes denominadas de coordenadas esféricas ou cilíndricas. Estas coordenadas são: ângulo horizontal (h_z) medido no plano xy, ângulo zenital (z) medido no plano que contem o eixo z e o ponto considerado e a distância inclinada (d) contada da origem do sistema ao ponto considerado.

Sendo as coordenadas cartesianas determinadas por meio das seguintes equações:

$$X = d \cdot \sin z \cdot \sin h_z \quad (4)$$

$$Y = d \cdot \sin z \cdot \cos h_z \quad (5)$$

$$Z = d \cdot \cos z \quad (6)$$

onde:

X, Y, Z - coordenadas no referencial da estação

d - média das distâncias

z - ângulo zenital

h_z - ângulo horizontal

Todo o procedimento descrito anteriormente deve ser aplicado nas observações obtidas com a estação no início do trabalho - época (t_0), e após a existência de instabilidade em sua posição - época (t_1), formando assim dois conjuntos de coordenadas para cada ponto, em referenciais diferentes. Este método infere que a partir destes conjuntos de observações consegue-se calcular os valores de translação, rotação e fator de escala, e por meio deles recalcular as coordenadas da estação e a partir destes valores, calcular as coordenadas de pontos locados em estruturas e verificar se houve ou não deslocamento dos mesmos.

Considerando que esses conjuntos de coordenadas estão em referenciais diferentes, para se obter os parâmetros de transformação da estação deve ser aplicada a Transformação de Helmert. Ela é tipicamente usada em levantamentos em que se deseja mudar de um sistema de coordenadas para outro, desde que se conheça um determinado número de pontos comuns nos dois referenciais. O fator de escala é definido por um parâmetro, as rotações e as translações por três, resultando, portanto em sete parâmetros. Assim, com o mínimo de três pontos, os sete parâmetros podem ser determinados:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + (1+\delta) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (7)$$

onde:

- X, Y, Z coordenadas dos pontos obtidas com dados da estação nivelada;
 x, y, z coordenadas dos pontos obtidas com dados da estação desnivelada;
 x₀, y₀, z₀ translações;
 δ fator de escala;
 ε_x, ε_y, ε_z rotações.

Trata-se de um sistema de equações com 3n equações (n é o número de pontos) e sete parâmetros a determinar, adotar-se-á o modelo paramétrico para a resolução desse sistema.

4. EXPERIMENTO

Um experimento foi realizado com o intuito de se avaliar a eficiência do método proposto. Esse experimento reproduz o comportamento da Estação Total em uma área instável, em um campo de teste, no qual a estação foi instalada em um tripé industrial em terreno estável, e um conjunto de pontos de controles foi distribuído ao redor da área para que os mesmos fossem utilizados para monitorar a posição da estação.

Neste caso, ao invés do desnivelamento da estação ser provocado pela instabilidade no local da medição, ele foi provocado pelo operador do equipamento, ou seja, o compensador da estação foi desligado e através dos parafusos calantes ela foi desnivelada. Desta forma, dois conjuntos de observações foram obtidos (para cada experimento), e a partir disso, foi possível calcular valores de deslocamento (translação e rotação) em relação a uma posição inicial do instrumento.

4.1 Equipamentos

Para a coleta dos dados os seguintes equipamentos/instrumentos foram utilizados:

- a) Estação Total Trimble Zeiss Elta S20, cuja precisão nominal $\sigma_a = 3''$ e $\sigma_D = \pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$;
- b) Tripé industrial;
- c) Psicrômetro;
- d) Barômetro Aneróide Paulim ;
- e) Cinco prismas refletor Leica;
- f) Três bases nivelante;
- g) Dois bipés.

4.2 Procedimento de Campo

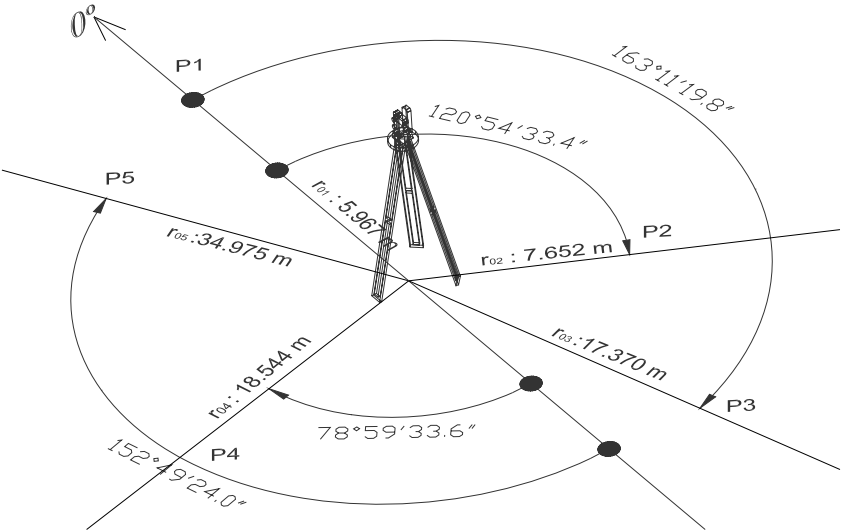
A metodologia seguida para a realização desse experimento consistiu em estacionar o equipamento sobre um tripé industrial (BASE) e distribuir os prismas (Pontos P1, P2, P3, P4 e P5) na área de maneira que esses se mantivessem estáveis, Figura 2, sendo definida como linha de referência a distância do ponto Base até o ponto P1.

Figura 2 – Distribuição dos pontos na área do levantamento.

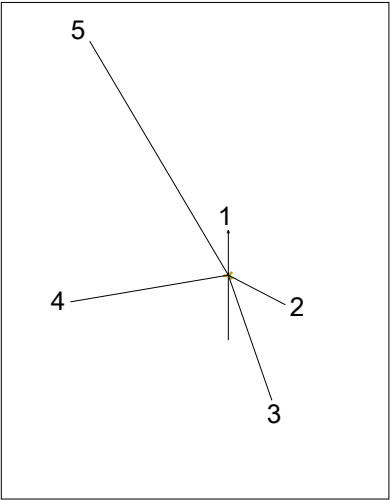
a)



b)



c)



A partir dessa disposição dos pontos, foram realizadas três séries de observações, com leituras em posição direta e inversa, de direções horizontais, ângulos zenitais e distâncias inclinadas para cada ponto, bem como, coleta de parâmetros ambientais (pressão e temperatura seca) e o horário das observações, para um conjunto de pontos numa época t_0 , com a Estação Total nivelada. Após essas observações, a estação foi desnivelada nas duas direções ($22'24,2''$ e $27'22,5''$), e o mesmo conjunto de pontos foi observado numa época t_1 . A Figura 3 mostra o nível digital da estação, demonstrando como é possível quantificar esses valores.

Figura 3 – Nível Digital – Estação Total Elta S20.



De posse dos dados coletados partiu-se para a aplicação do Método de Relação da Linha de Referência, para o cálculo das coordenadas dos pontos e dos parâmetros (nos dois referenciais), bem como, da verificação da qualidade dos mesmos.

Como forma de verificar a qualidade dos parâmetros encontrados, um ponto foi deixado de fora do ajustamento. Os parâmetros foram então aplicados nas coordenadas do ponto P3, obtidas com a estação desnivelada, e através desse procedimento as coordenadas foram transformadas para o referencial da estação nivelada. Por fim, fez-se a comparação das coordenadas obtidas com a estação nivelada com as coordenadas calculadas para a mesma estação.

Os resultados de todo este processo podem ser vistos a seguir.

4.3 Resultados

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as distâncias horizontais, o horário de mensuração das distâncias, o fator de escala (k) e as distâncias corrigidas pelo Método de Relação da Linha de Referência. Nesses quadros, os valores em negrito, na coluna 6, são os comprimentos inicialmente medidos e corrigidos da linha de referência, e os demais valores são os comprimentos corrigidos que foram calculados a partir do fator de escala da linha de referência. As distâncias medidas na 3ª série de observações não foram corrigidas, pois para o cálculo do fator de escala havia a necessidade da última observação ter sido feita sobre a linha de referência.

Tabela 1 - Distâncias corrigidas - estação nivelada.

S é r i e	B a s e P /	H o r a	D i s t â n c i a H o r i z o n t a l (m)	F a t o r d e E s c a l a (k)	D i s t â n c i a C o r r i g i d a (m)
1ª	1	10:26	5,967	1,000037761	5,967
	2	10:30	7,652	1,000050401	7,653
	3	10:35	17,370	1,000066200	17,371
	4	10:38	18,544	1,000075679	18,545
	5	10:41	34,975	1,000085159	34,978
2ª	1	10:44	5,967	1,000094638	5,967
	2	10:46	7,653	1,000093124	7,653
	3	10:51	17,370	1,000089340	17,371
	4	10:56	18,544	1,000085555	18,546
	5	10:59	34,975	1,000083284	34,978
3ª	1	11:02	5,967	1,000081014	5,967
	2	11:05	7,653	-	-
	3	11:08	17,370	-	-
	4	11:11	18,544	-	-
	5	11:13	34,975	-	-

Tabela 2 - Distâncias corrigidas - estação desnivelada.

S é r i e	B a s e P /	H o r a	D i s t â n c i a H o r i z o n t a l (m)	F a t o r d e E s c a l a (k)	D i s t â n c i a C o r r i g i d a (m)
1ª	1	11:20	5,945	1,000038893	5,946
	2	11:23	7,631	1,000040838	7,632
	3	11:26	17,371	1,000042784	17,371
	4	11:28	18,540	1,000044082	18,540
	5	11:30	34,969	1,000045379	34,970
2ª	1	11:33	5,945	1,000047325	5,946
	2	11:36	7,631	1,000046213	7,631
	3	11:39	17,371	1,000045101	17,371
	4	11:41	18,540	1,000044360	18,540
	5	11:43	34,969	1,000043618	34,970
3ª	1	11:46	5,945	1,000042506	5,946
	2	11:48	7,631	-	-
	3	11:52	17,371	-	-
	4	11:54	18,540	-	-
	5	11:57	34,969	-	-

Exemplo de cálculo do fator de escala:

A correção atmosférica (fator de escala) às 10h26min foi então determinada dividindo-se a distância horizontal pela distância corrigida da linha de referência, ou seja, $5,967/5,96713261995583 = 1,000037761$. Depois às 10h44min, a correção atmosférica se tornou 1,000094638. Assumindo que a mudança na correção foi linear, como uma função de tempo sobre um intervalo de 18 minutos, pode-se calcular o fator de correção no intervalo entre 10h26min e 10h44min, quando foram observadas medidas de distâncias sobre P2, P3, P4 e P5.

A média das distâncias corrigidas e seu respectivo desvio-padrão podem ser visualizadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Médias das Distâncias corrigidas – estação nivelada.

Data	Dis tância Ho rizo ntal - Média (m)	Dis tância Co rrigida (m)	
		M. Rela ção	σ (mm)
14/dez	5,967	5,967	0,0
	7,652	7,653	0,4
	17,37	17,371	0,3
	18,544	18,545	0,1
	34,975	34,978	0,0

Tabela 4 - Médias das Distâncias corrigidas – estação desnivelada.

Data	Dis tância Ho rizo ntal - Média (m)	Dis tância Co rrigida (m)	
		M. Rela ção	σ (mm)
14/dez	5,945	5,946	0,00
	7,631	7,631	0,01
	17,371	17,371	0,03
	18,540	18,540	0,01
	34,969	34,969	0,04

Após a aplicação do Método de Relação da Linha de Referência para correção das distâncias, foram calculados os ângulos horizontais e verticais para cada ponto, após o cálculo destes, partiu-se para o cálculo das coordenadas dos pontos no referencial da estação nivelada e no referencial da estação desnivelada, através das equações (4), (5) e (6).

Foram formados dois conjuntos de coordenadas para cada ponto, em referenciais diferentes, conforme são apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Coordenadas no referencial da estação (nivelada).

P o n t o V i s a d o	C o o r d e n a d a s (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	4,883	3,430
2	5,997	-3,5	3,271
4	-18,171	-3,665	-0,546
5	-16,176	31,005	0,714

Tabela 6 - Coordenadas no referencial da estação (desnivelada).

P o n t o V i s a d o	C o o r d e n a d a s (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	4,849	3,442
2	5,925	-3,547	3,246
4	-18,185	-3,537	-0,729
5	-15,966	31,099	0,922

Considerando que esses conjuntos de coordenadas estão em referenciais diferentes, os ângulos de rotação, translação e o fator de escala da estação foram determinados pela aplicação do modelo paramétrico, através da Transformação de Helmert, equação (7) e são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros de transformação.

D a t a	P a r â m e t r o s	D e s v i o P a d r ã o (m m)
$x_0^{(1)}$	0,0018	0,1
$y_0^{(2)}$	-0,0001	0,1
$z_0^{(3)}$	-0,0019	0,1
$\varepsilon_x^{(4)}$	0° 36' 19,6"	0,8
$\varepsilon_y^{(5)}$	0° 27' 13,6"	0,1
$\varepsilon_z^{(6)}$	- 0° 23' 01,4"	0,6
$\delta^{(7)}$	1	0,6

(1), (2) e (3) Parâmetros de Translação em m;

(4), (5) e (6) Parâmetros de Rotação;

(7) Fator de Escala

Com o intuito de avaliar os parâmetros obtidos dessa transformação, o ponto P3 foi excluído do ajustamento e suas coordenadas foram calculadas através da aplicação dos parâmetros nas coordenadas obtidas com a estação desnivelada. Estas foram comparadas com as calculadas pelas fórmulas (4), (5) e (6), e são apresentadas na Tabela 8. Verifica-se que as diferenças encontradas são da ordem de décimos de milímetros, encontram-se, portanto, dentro da precisão nominal do instrumento.

Tabela 8 - Comparação de coordenadas.

P ONTO 3	COORDENADAS (m)		DIFERENÇA (m)
	*	**	
X	5,138	5,138	0,000
Y	-16,593	-16,595	0,002
Z	-0,092	-0,092	0,000

(*) coordenadas obtidas pelas equações (9), (10) e (11)

(**) coordenadas calculadas pela aplicação dos parâmetros nas coordenadas da estação desnivelada

5. CONCLUSÕES

O método proposto a partir da união do Método de Relação da Linha de Referência com a utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total mostrou-se viável, permitindo assim a correção das distâncias e o cálculo de valores de deslocamento (translação e rotação) em relação a uma posição inicial do instrumento.

Para a aplicação desse método, vale ressaltar que é necessário que durante as observações dos pontos de controle a estação não pode sofrer alterações no seu posicionamento.

Adicionalmente, a aplicação do Método de Relação da Linha de Referência pode otimizar a execução do levantamento, em função da forma de cálculo das correções, mostrando a possibilidade da sua aplicação para os levantamentos topográficos convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGUS-LEPPAN, P. V. Network adjustment by the ratio method and its meteorological basis. *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Survey*, n. 31,1979.

ANGUS-LEPPAN, P. V. Adjustment of trilateration using length ratios. *Survey Review*, V. 21, n. 166, 1972.

- CHEN, Y.Q. Analysis of deformation surveys – a generalized method. *Technical Report*, n. 94. New Brunswick: Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, 1983.
- CROSS, P. A.; NORRIS, J. C. The adjustment of length ratios. *Survey Review*, V. 23, n. 181, 1976.
- MIRANDA, F. D. A. *Metodologia para o monitoramento de pontos em áreas instáveis empregando-se estações totais*. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba.
- MIRANDA, F. D. A.; FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K. Método para o monitoramento de pontos em áreas instáveis In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente - SP. *Anais...* Presidente Prudente: II SGB e V CBCG, 2007.
- NADAL, C. A. *Método de interseção óptica tridimensional aplicado à engenharia de precisão*. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- ROBERTSON, K. D. The use of atmospheric models with trilateration. *Survey Review*, V. 24, n. 186, 1977.
- ROBERTSON, K. D. The use of line pairs in trilateration and traverse. *Survey Review*, V. 21, n. 165, 1972.
- RÜEGER, J. M. *Electronic Distance Measurement: an introduction*. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- SEIXAS, A.; BURITY, E. F. Geodésia aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – CBCG, 4., Curitiba, 2005. *Anais...* Curitiba: CBCG, 2005. 1 CD-ROM.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. *Structural deformation surveying*. Engineer Manual. 2002.
- VAN CRANENBROECK, J.; BROWN, N. Networking motorized total stations and GPS receivers for deformation measurements. In: FIG Working Week 2004, Athens. *Proceedings...* Athens: FIG, 2004.

(Recebido em novembro / 2008. Aceito em junho / 2009.)