

Determinação de Deslocamentos em Estruturas Verticais com o Uso de Estação Total

Rodrigo Mikosz Gonçalves¹
Angela Cristina Cararo²
Elmo Leonardo Xavier Tanajura³
Alessandro Salles Carvalho⁴

¹²³⁴ UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Setor de Ciências da Terra
Caixa Postal 19.001 Curitiba PR
¹rodrigo.mikosz@gmail.com
²angelacristina@ufpr.br
³elmotanajura@yahoo.com.br
⁴ascufv@yahoo.com.br

Resumo: Este artigo retrata uma forma prática e simples de monitorar deslocamentos em estruturas. Neste caso o objeto dos experimentos práticos é um muro em alvenaria, utilizado como divisa de terreno. O objetivo é aplicar uma metodologia de levantamentos geodésicos para verificar se há ocorrência de deslocamento da parede em estudo no decorrer do tempo com o uso de Estação Total. Em casos onde haja divergência de opiniões sobre a segurança de uma estrutura, por exemplo, torna-se necessário a avaliação de um profissional que possa fornecer subsídios técnicos para dar embasamento a respeito de deslocamentos em estruturas. Este artigo descreve os equipamentos utilizados, a metodologia empregada e os resultados do experimento proposto.

Palavras chaves: Estação Total, levantamento geodésico, monitoramento de estruturas.

Abstract: This paper shows a simple way to monitoring shifts in structures. The object of the practical experiments is a wall used to divide a terrain. The objective is to apply a methodology of geodetic surveys to detect some shift in a specific wall thought the time using a total station. There are some cases where is necessary to make sure about the security of the structure and in those cases are important a technical support to determine the shift in the structure. This paper also describes the equipments, the methodology and the results of the proposed experiment.

Keywords: Total Estation, geodetic surveys, monitoring structur.

1 Introdução

De acordo com Miranda (2006), monitorar é acompanhar o comportamento de um objeto ao longo do tempo e, no caso do monitoramento geodésico, isto se dá pela comparação das coordenadas de um mesmo ponto em no mínimo duas épocas distintas.

Neste trabalho o monitoramento é efetuado com o uso de uma estação total através de técnicas geodésicas convencionais que são caracterizadas por observações diretas de distâncias, ângulos verticais e direções horizontais.

Vários autores abordam o tema de monitoramento de estruturas para as mais diversas aplicações. Como revisão de literatura citam-se os seguintes trabalhos: “Monitoramento de deslocamentos dos destroços oriundos do acidente com o navio BTG Vicuña na baía de Paranaguá” (Nadal et al. 2005), onde uma metodologia de monitoramento dos destroços de um navio é efetuada para fins de acompanhamento “Measuring the dynamic deformation of bridges using a total station” (Cosser et al. 2003); em que é apresentada uma comparação entre medidas efetuadas com estação total para fins de monitoramento de

pontes com medidas oriundas de GPS. Outro artigo que utiliza de técnicas geodésicas para verificar deslocamentos é apresentado por Palazzo et al. (2004) intitulado “Determinação de deslocamentos verticais em estruturas de pontes utilizando técnicas geodésicas”.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2, apresenta-se a metodologia descrevendo o experimento proposto, os equipamentos utilizados, como foram efetuadas as observações de ângulos e distâncias e as correções de erros sistemáticos devido às condições atmosféricas. Na seção 3, apresentam-se os resultados obtidos. Estes são analisados na seção 4, e as conclusões são apresentadas na seção 5.

2 Metodologia

Inicialmente foram implantados pontos de controle (figura 1) na parede em estudo. Ao todo foram selecionados 12 pontos para o monitoramento de deslocamentos tridimensionais (ΔX , ΔY , ΔZ) distribuídos ao longo da alvenaria.

Através de campanhas distintas, com um intervalo de 20 (vinte) dias entre elas, foram observados: ângulos verticais, direções horizontais e distâncias.

Para o experimento proposto foi utilizada a ESTAÇÃO TOTAL ZEISS – TRIMBLE 3305 DR (figura 2). Este modelo apresenta as seguintes características: compensador no eixo vertical; coletor interno para 1.900 pontos; entrada de dados alfanuméricos; precisão linear de 2mm+2ppm; precisão angular de 5" segundos; alcance com prisma de até 1.500 metros.



Figura 2: Estação total e base de centragem forçada utilizada no local do monitoramento

Construiu-se uma base de centragem forçada de ferro. Esta, foi fixada (chumbada) em um ponto sobre o asfalto, o que garantiu a instalação do equipamento sempre no mesmo local com a mesma posição, possibilitando visadas em todos os pontos. O prisma utilizado foi o Leica GPR 111 (figura 3). Em cada um dos pontos de controle localizados na parede, foi construído um aparato chumbado, no qual garante-se que o prisma sempre se encontrará na mesma posição em cada ponto. A figura 3 retrata o prisma posicionado em um dos pontos de controle no local de estudo.

Para tratar das variações nas condições atmosféricas que causam um aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas de distâncias (Faggion 2001), utilizaram-se as fórmulas que acompanham o manual do equipamento. Neste caso, um Psicômetro e um Barômetro foram utilizados como equipamentos adicionais para coletar temperatura seca, temperatura úmida e pressão atmosférica.

Para efetuar as medidas de ângulos (zenitais e horizontais) e distâncias com a utilização da estação total fez-se uso de séries de observações. Ou seja, para cada ponto trabalhou-se com 3 séries de visadas com a luneta em posição direta (PD) e inversa (PI). Este tipo de critério utilizado é de fundamental importância para minimizar erros de observações (erros de pontaria do operador) e para permitir um tratamento matemático e estatístico para os dados coletados.

Foi adotado um sistema topográfico de coordenadas local, no qual a estação ocupada recebeu as coordenadas X,Y,Z (100, 100,100), evitando assim a presença de valores negativos. Um ponto fora da estrutura e considerado como fixo foi utilizado para origem do eixo y desse sistema local.

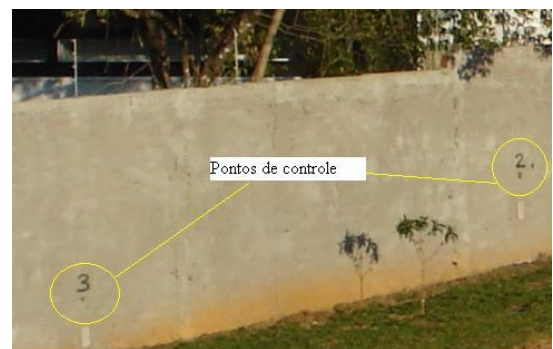


Figura 1: Pontos de controle 2 e 3

Para tratar das variações nas condições atmosféricas que causam um aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas de distâncias (Faggion 2001), utilizaram-se as fórmulas que acompanham o manual do equipamento. Neste caso, um Psicômetro e um Barômetro foram utilizados como equipamentos adicionais para coletar temperatura seca, temperatura úmida e pressão atmosférica.

Para tratar das variações nas condições atmosféricas que causam um aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas de distâncias (Faggion 2001), utilizaram-se as fórmulas que acompanham o manual do equipamento. Neste caso, um Psicômetro e um Barômetro foram utilizados como equipamentos adicionais para coletar temperatura seca, temperatura úmida e pressão atmosférica.



Figura 3: Prisma utilizado posicionado em um ponto de controle sobre o muro

Após coletados os dados (ângulos e distâncias), os mesmos foram organizados em planilhas para facilitar a aplicação das correções devido às variações atmosféricas e tratamento estatístico das observações. Em seguida, aplicou-se a formulação abaixo para determinar as coordenadas cartesianas tridimensionais de cada ponto de controle.

$$\begin{aligned} X &= d \sin V \sin A \\ Y &= d \sin V \cos A \\ Z &= d \cos V \end{aligned} \quad (1)$$

Onde:

X, Y e Z = coordenadas cartesianas tridimensionais
 d = distância horizontal da base até o ponto em questão
 V = ângulo vertical
 A = ângulo horizontal a partir da origem

3 Resultados Obtidos

Nas tabelas 1 e 2, apresentam-se as coordenadas dos pontos, em metros, conforme as duas campanhas distintas. Na tabela 3, são apresentadas diferenças de coordenadas, também em metros para os 12 pontos de controle, obtidos em duas campanhas.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos (m) conforme a primeira campanha

Ponto	X1	Y1	Z1
1	94,698	151,126	95,918
2	90,090	144,478	95,910
3	89,978	144,295	95,781
4	86,020	138,671	94,838
5	82,160	133,136	94,856
6	78,248	127,616	94,847
7	74,388	122,100	94,864
8	70,542	116,515	94,370
9	66,739	111,050	94,358
10	62,841	105,594	94,461
11	58,891	100,054	94,442
12	55,076	94,463	94,438

Tabela 2 – Coordenadas dos pontos (m) conforme a segunda campanha

Ponto	X2	Y2	Z2
1	94,701	151,127	95,916
2	90,093	144,476	95,908
3	89,979	144,293	95,786
4	86,018	138,670	94,836
5	82,161	133,134	94,857
6	78,244	127,619	94,846
7	74,388	122,099	94,864
8	70,543	116,511	94,372
9	66,736	111,055	94,359
10	62,839	105,594	94,461
11	58,890	100,058	94,440
12	55,076	94,461	94,438

Tabela 3 – Diferença das coordenadas da primeira campanha com a segunda, em metros

Diferença de coordenadas (m)			
Ponto	ΔX	ΔY	ΔZ
1	-0,00 3	-0,00 1	0,002
2	-0,00 3	0,002	0,002
2A	-0,00 1	0,002	-0,00 5
3	0,002	0,001	0,002
4	-0,00 1	0,002	-0,00 1
5	0,004	-0,00 3	0,001
6	0,000	0,001	0,000
7	-0,00 1	0,004	-0,00 2
8	0,003	-0,00 5	-0,00 1
9	0,002	0,000	0,000
10	0,001	-0,00 4	0,002
11	0,000	0,002	0,000

4 Análise dos resultados

Para analisar os resultados, torna-se importante ressaltar que em todas as medidas existem erros. No caso em estudo, destacam-se por exemplo, os erros sistemáticos como aqueles causados pela temperatura e pressão atmosférica, que foram devidamente corrigidos com suas fórmulas específicas e apresentaram correções na ordem milimétrica sobre a distância d na equação 1.

Outros erros, como o de pontaria, foram minimizados com o auxílio de séries de observações. Pequenas imprecisões ao posicionar o prisma na parede e na base de centragem forçada também podem ocasionar erros nas observações em questão, porém estes foram desprezados.

Os resultados apresentados na tabela 3 mostram as diferenças de coordenadas entre as campanhas, conforme os pontos monitorados. Analisando estes resultados verifica-se que a maior diferença encontrada foi de 5 mm.

O importante em um monitoramento de estruturas é calcular o valor mínimo significativo, para considerar que a estrutura se deslocou conforme a metodologia e equipamentos utilizados. Para esse caso específico, conforme as condições de carga do muro em questão, foi considerado que a estrutura estaria em movimento se fosse detectado deslocamentos na ordem centimétrica. Sendo, assim conforme as condições experimentais propostas, os pontos de controle não sofreram nenhum deslocamento significativo durante as campanhas.

5 Conclusões

Conforme as observações coletadas e suas análises em cada ponto de controle monitorado (X, Y e Z) concluiu-se que o muro em estudo encontra-se estável, ou seja, estático até o presente momento de estudo efetuado. Em outras palavras, pode-se dizer que o mesmo não sofreu nenhum deslocamento significativo no período em que foi monitorado entre as duas campanhas.

O ideal seria efetuar mais campanhas, pois este tipo de trabalho de precisão requer redundância de dados e observações temporais maiores para controlar a existência de algum tipo de movimentação.

Recomenda-se verificar a aplicação de testes estatísticos para monitoramentos mais complexos. Isso se torna uma importante ferramenta para verificar se o deslocamento é estatisticamente significativo a certo nível de significância. Seria interessante também, realizar uma análise da influência da propagação de covariâncias.

6 Referências Bibliográficas

Cosser, E.; Roberts, G. W.; Meng, X.; Dodson, A. H. *Measuring the dynamic deformation of bridges using a total station*. Proceedings, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece, 2003, p. 1-8.

Faggion, P. L. *Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório*, Tese Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 2001, p. 1-100.

Miranda, F. D. D. A. *Metodologia para o Monitoramento de Pontos em Áreas Instáveis Empregando-se Estações Totais*, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 2007, p. 1-100.

Nadal, C. A.; Veiga, L. A. K.; Faggion, P. L.; Nadal M. A. D. *Monitoramento de deslocamentos dos destroços oriundos do acidente com o navio BTG Vicuña na baía de Paranaguá*. In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – IV CBCG Curitiba, 16 a 20 de maio de 2005, p. 1-4.

Palazzo, D. R.; Nadal, C. A.; Moreira, R. A.; Veiga, L. A. K.; Faggion, P. L. *Determinação de deslocamentos verticais em estruturas de pontes utilizando técnicas geodésicas*. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2003, p. 1-14.