

## MONITORAMENTO GEODÉSICO EM TEMPO-REAL COM A UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO

FABIANI D. ABATI MIRANDA  
LUIS AUGUSTO KOENIG VEIGA

Universidade Federal do Paraná  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba - PR  
{fabi.miranda, kngveiga}@ufpr.br

**ABSTRACT** - In Brazil there are no indications of the existence of an automated system for monitoring. So, is required to implement something similar and, why not the system itself, that is, a system that in addition to measure, control, process and respond with results consistent with the reality in question. To make this possible, are necessary knowledge ranging from the entire instrumental, through programming languages, solid scientific knowledge, and tests to verify the applicability of the system. Therefore, this paper aims to disseminate the studies that have been made in the area of automation topographic, but specifically, the geodesic monitoring real-time with the support of an automated system for monitoring.

### 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, uma das principais limitações das técnicas de monitoramento geodésicas tem sido a dificuldade de executar medidas de forma automatizada. Enquanto muitos equipamentos geotécnicos e outros dispositivos não-geodésicos para medida de deslocamentos são prontamente adaptados para medidas automatizadas (CHRZANOWSKI, 1986), os levantamentos geodésicos caracterizam-se tradicionalmente por operações laboriosas, dependentes da habilidade do operador. Com o passar do tempo foram desenvolvidas estações totais que executam medidas eletrônicas de distâncias, leituras automáticas dos círculos horizontais e verticais, e reconhecimento automático de alvos, para obtenção de medidas com alta precisão. Porém, o empecilho maior para automatização permaneceu na dificuldade de obtenção de respostas (coordenadas) em tempo real, face à necessidade de processamento e ajustamento das informações e, integração destas com dados de outros instrumentos como o caso de sensores de temperatura e pressão.

Embora os equipamentos atualmente disponíveis no mercado tenham diversas funções para otimizar o trabalho de campo, no monitoramento não basta somente calcular coordenadas de pontos, é necessária a realização de diversos procedimentos para se poder chegar a resultados que indiquem a variação da posição de um ponto ao longo do tempo. Estes procedimentos vão desde a escolha do instrumental, da maneira como são distribuídos os pontos de apoio para o monitoramento dos deslocamentos, de como estes pontos são monumentados, dos programas utilizados para coleta, processamento, verificação, ajustamento e análise dos dados coletados, de como é realizada a comunicação e transferência dos

mesmos, bem como seu modo de armazenamento e visualização. O conjunto destes procedimentos caracteriza um sistema de monitoramento.

Alguns exemplos de sistemas de monitoramento e programas já desenvolvidos podem ser citados: DIMOS (*Displacement Monitoring System*) desenvolvido pela University of New Brunswick (LUTES, 2002); MoSTUM (*Monitoring System TUM*) desenvolvido pela Technical University of Munich (FOPPE et al., 2006); ALERT (*Displacement Monitoring System*), desenvolvido empresa A. Chrzanowski & Associates. O Brasil ainda não possui esse tipo de sistema, que além de medir, controle, processe e responda com resultados coerentes a realidade em questão.

Assim sendo, esse trabalho tem como objetivo divulgar os estudos que vem sendo realizados na área de automação topográfica, mas especificamente, o monitoramento geodésico em tempo-real com o apoio de um sistema automatizado para monitoramento.

### 2 MONITORAMENTO GEODÉSICO

Monitorar é acompanhar o comportamento de um objeto ao longo do tempo e no caso do monitoramento geodésico este acompanhamento se dá pela comparação das coordenadas de um mesmo ponto em duas épocas distintas.

Segundo Nadal (2008), uma das maneiras de executar o monitoramento do deslocamento de pontos ao longo do tempo é a aplicação de técnicas geodésicas. As técnicas geodésicas convencionais baseiam-se no uso de instrumentos, como estações totais e níveis, e na aplicação de métodos, como triangulação, trilateração, poligonização e nivelamento geométrico. E ainda, as técnicas de mensuração geodésicas visam determinar se um ponto ou

conjunto destes sofre variação em suas coordenadas ao longo do tempo, ou seja, se houve algum deslocamento dos mesmos.

Neste trabalho serão estudadas as técnicas geodésicas convencionais, empregando-se Estações Totais.

### 3 ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS

A precisão, versatilidade e capacidade para verificação e análise da precisão 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 precisão das medições com uma estação total, e por sua vez, causam influência na análise de possíveis deslocamentos. A discussão de alguns destes fatores será apresentada a seguir.

#### 3.1 Instabilidade de pontos de referência

Segundo Miranda (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. Para obter os deslocamentos absolutos dos pontos objeto, deve ser assegurada a estabilidade dos pontos de referência e os pontos instáveis devem ser identificados. Caso contrário, os deslocamentos calculados dos pontos objeto e subsequente análise e a interpretação do deslocamento do objeto podem sofrer distorções significativas, isto é, a utilização de pontos de referência que são erroneamente assumidos estáveis, pode resultar num deslocamento padrão tendencioso podendo, então, levar a um interpretação errada do que esta acontecendo realmente com o objeto monitorado (CHEN, 1983).

#### 3.2 Efeitos atmosféricos

As variações nas condições atmosféricas causam um aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas de distâncias (FAGGION, 2001).

Devido à influência que os fatores atmosféricos provocam nessas medidas, faz-se necessário corrigi-las de tais elementos. Esta correção pode ser obtida das seguintes maneiras (FAGGION, 2001; MIRANDA, 2007): utilizando o ábaco ou as fórmulas que acompanham o manual do equipamento; utilizando as fórmulas adotadas pela *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG); utilizando o Método de Relação da Linha de Referência.

#### 3.3 Erros grosseiros/outliers

As observações apresentam flutuações probabilísticas, pois, quando se repete a medida de uma grandeza, os vários valores não são idênticos, mas

dispersos numa certa região ou intervalo. Essas flutuações, tradicionalmente, são classificadas como erros aleatórios. Além dos erros aleatórios, as observações podem estar contaminadas pelos erros sistemáticos e grosseiros (GEMAEL, 1994). Do ponto de vista estatístico, observações com erros grosseiros não podem ser consideradas como pertencentes à amostra, não podendo ser usadas com as outras observações. Desta forma, é importante dispor de técnicas para a detecção e identificação de erros grosseiros nas observações (TEUNISSEN, 2000).

A localização de possíveis erros embutidos nas observações é realizada por meio de testes estatísticos, como exemplos: utiliza-se o Teste Global com o propósito de verificar a compatibilidade das observações com o modelo matemático empregado, isto é, na análise da qualidade do modelo. A estatística do teste para a *i*-ésima observação é dada pelo teste *Data Snooping* de Baarda (BAARDA, 1968), que tem como objetivo principal a localização de possíveis erros nas observações.

Os testes Global e *Data Snooping* requerem o conhecimento da precisão das observações. Existem casos em que se tem um conjunto de observações para ajustar, e que a precisão das observações não é conhecida. Nestes casos, após o ajustamento não é realizado o teste Global nem o *Data Snooping*, mas sim o teste *Tau*, que é uma adaptação do teste *Data Snooping* com vistas a se adequar a tal situação (KUANG, 1996).

### 4 SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO (SAM)

A idéia de um sistema para monitoramento vai mais além do que somente o desenvolvimento de um programa para o simples cálculo de coordenadas. O sistema pode ser entendido como um conjunto de metodologias, e neste sentido estudos devem ser realizados sobre técnicas de posicionamento, processamento, análise de dados e de uma forma de conjugar estes elementos através de um programa.

Um sistema automatizado para monitoramento geodésico contribui com o aumento da precisão e confiabilidade de pontos monitorados, bem como, propicia maior rapidez na coleta, processamento e análise das observações coletadas. Para que isto seja possível, são necessários conhecimentos que vão desde todo o instrumental, passando por linguagens de programação, conhecimentos das técnicas de medição e ajuste, além de testes para verificar a aplicabilidade do sistema, e, principalmente a proficiência para a sociedade.

#### 4.1 Implementação de um SAM

A seguir serão descritos os diferentes componentes envolvidos no desenvolvimento de um SAM: instrumentação, comunicação e transferência dos dados, monumentação e programa.

#### 4.1.1 Instrumentos

Serão utilizados dois tipos principais de instrumentação: as estações totais que permitem observar direções e distâncias e os sensores meteorológicos que são requeridos para a correção dos efeitos atmosféricos nas medidas de distância.

#### 4.1.2 Comunicação e transmissão dos dados

O movimento da informação computacional de um ponto a outro, por meio de sistemas de transmissão elétricos ou ópticos, constitui a comunicação de dados (GERALD e DENNIS, 2005).

Já a transmissão de dados, esta pode ser realizada de forma analógica e digital. Na transmissão analógica os sinais elétricos variam continuamente entre todos os valores possíveis permitidos pelo meio de transmissão. Já na transmissão digital os sinais elétricos que representam as informações assumem valores de amplitude pré-determinados no tempo.

#### 4.1.3 Monumentação

Um dos aspectos mais importantes de qualquer rede de monitoramento geodésica é a qualidade de monumentação. Monumentos impropriamente instalados ou instáveis podem comprometer todo um trabalho de monitoramento. Segundo Us Army Corps Of Engineers (2002b), a estabilidade dos pilares é de fundamental importância, para tanto, a precaução mais efetiva que pode ser utilizada para assegurar a estabilidade e sobrevivência de um marco ou monumento é a escolha de um local apropriado para a sua instalação. A precisão resultante de qualquer levantamento será determinada em parte pela estabilidade dos marcos. Para tanto, antes de se estabelecer um marco deve-se avaliar a segurança, utilidade, estabilidade, ambiente, segurança e seu possível local de implantação.

#### 4.1.4 Programa

Antes de se iniciar o desenvolvimento, ou programação propriamente dita de um programa, deve-se ter em mente os aspectos envolvidos neste projeto, ou seja, as necessidades e o propósito do programa, para que não haja desperdício de tempo e de recursos (NADAL, 2008).

Segundo Carvalho (2001), existem três atividades fundamentais, comuns a todos os processos de construção de programas, a saber:

- Desenvolvimento: as funcionalidades e as restrições relativas à operacionalidade do produto são especificadas, e o programa é produzido de acordo com essas especificações;
- Validação: o produto, programa, é validado para garantir que ele faça exatamente o que o usuário deseja;
- Manutenção: o programa sofre correções, adaptações e

ampliações para corrigir erros encontrados após a entrega do produto, atender os novos requisitos do usuário e incorporar mudanças na tecnologia.

A seguir serão esboçadas algumas considerações para o desenvolvimento do programa de monitoramento.

##### 4.1.4.1 Considerações sobre o programa

O programa deve permitir a operação do sistema em um modo automatizado durante longos períodos de tempo, e deve ser flexível o bastante para acomodar mudanças futuras em sua configuração. Além desses, outros fatores devem ser levados em consideração no desenvolvimento do programa (LUTES, 2002):

- Compatibilidade com diferentes modelos de estações totais;
- Flexibilidade na programação usuário-configuração de atividades de coleta de dados;
- Conexão com sensores de temperatura digital e pressão para armazenamento de dados meteorológicos e correção de distâncias medidas;
- Suporte ao acesso remoto da rede de comunicação;
- Execução do processamento dos dados automaticamente, inclusive uma análise de estabilidade dos pontos de referência observados por cada estação total, bem como, geração de gráficos e o ajustamento dos dados.

##### 4.1.4.2 Processamento dos dados

Os dados observados obtidos de cada estação total sofrerão uma avaliação automática e análise de deslocamento em tempo real. Para tanto, os seguintes passos devem ser executados (LUTES et al., 2001):

- Verificação da qualidade das observações: Este passo inclui ajustamento das séries coletadas de direções horizontais, cálculo da média dos ângulos verticais e distâncias inclinadas, e estimação de discrepâncias e resíduos das observações. As discrepâncias e resíduos são comparados com as tolerâncias pré-fixadas usando testes estatísticos. Se o teste passar, parte-se para o passo seguinte. Se o teste falhar, um comando é dado a estação total para medir uma série adicional e o Passo 1 será repetido.
- Correção dos dados observados;
- Comparação de épocas de observações para pontos de referência: Neste passo, depois das direções e distâncias para as estações de referência serem calculadas e corrigidas, elas são comparadas com os valores da época inicial de observações. Se as diferenças estiverem dentro das tolerâncias pré-fixadas, parte-se para o passo seguinte. Se as diferenças forem significativas, um sinal de advertência é determinado.
- Comparação da época de coordenadas de referência e pontos do objeto. Neste passo, as coordenadas de todos os pontos observados são calculadas e comparadas com a época inicial para verificar a

- existência de deslocamentos dos pontos. Se os deslocamentos dos pontos de referência passarem no teste estatístico, parte-se para o próximo passo.
- e) Cálculo final dos deslocamentos dos pontos: A determinação final dos deslocamentos dos pontos (inclusive os pontos de referência instáveis) poderá ser obtida por Mínimos Quadrados. Os deslocamentos finais e as elipses de erro são fornecidos.
- f) Teste de consistência: Neste passo, são testadas as diferenças de deslocamentos calculadas para pontos observados de duas estações. Se as diferenças estiverem dentro de uma tolerância preestabelecida, o deslocamento final será determinado a partir da média desses dois valores.

#### 4.2 Integração das componentes

Realizados os estudos sobre os itens abordados acima, inicia-se a fase de projeto da integração das componentes, ou seja, como conciliar a técnica de observação, instrumental, gerenciamento e processamento dos dados. Nesta fase serão concentrados os estudos para verificar as potencialidades e limitações do sistema como um todo.

#### 5 CONCLUSÕES

Métodos de monitoramento manual podem ser custosos quando efetuados por um longo período e não fornecem respostas rápidas. O uso de sistemas automatizados de monitoramento pode ser uma solução na busca por alternativas mais econômicas de realização de estudos, fornecimento de resultados com precisão e possibilidade de estudos com curtos intervalos entre medições. Portanto, um sistema de monitoramento permite acompanhamento e estudo, contínuo e sistemático, do comportamento de fenômenos, eventos e situações específicas, cujas condições desejam-se identificar, avaliar e comparar. Desta forma, é possível estudar as tendências ao longo do tempo, ou seja, verificar as condições presentes, projetando situações futuras.

#### REFERÊNCIAS

BAARDA, W. A testing procedure for use in geodetic networks. **Netherlands Geodetic Commission – Publication on Geodesy – News Series**, V.2, n.5, 1968.

CARVALHO, A. M. B. R. **Introdução à engenharia de programa**. Campinas: Unicamp, 2001.

CHEN, Y.Q. Analysis of deformation surveys – a generalized method. **Technical Report**, n. 94. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, 1983.

CHRZANOWSKI, A. Geotechnical and other non-geodetic methods in deformation measurements. In: **DEFORMATION MEASUREMENTS WORKSHOP**,

1986, Massachusetts. **Proceedings...**Massachusetts: 1986.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), UFPR, Curitiba, 2001.

FOPPE, K. et al. Autonomous permanent automatic monitoring system with robot-tacheometers. In: **FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS**, 23., 2006, Munich. **Proceedings...**Munich: FIG, 2006.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: UFPR, 1994.

GERALDO F.; DENNIS, A. **Comunicação de dados empresariais e redes**. 7. ed. São Paulo: LTC, 2005.

KUANG, S. **Geodetic network analysis and optimal design: concepts and applications**. Chelsea: Ann Arbor Press, 1996.

LUTES, J. A. **Automated dam displacement monitoring using a robotic total station**. **Technical Report**, n. 214. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, 2002. Disponível em: <[http:// gge.unb.ca/Pubs/TR214.pdf](http://gge.unb.ca/Pubs/TR214.pdf) > . Acesso em: fevereiro, 2006.

LUTES, J. A. et al. Dimons' software for automatic data collection and automatic deformation analysis. In: **FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS**, 10., 2001, Orange. **Proceedings...**Orange: FIG, 2001.

MIRANDA, F. D. A. **Metodologia para o monitoramento de pontos em áreas instáveis empregando-se estações totais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), UFPR, Curitiba, 2007.

NADAL, M. A. D. **Controle e operação remota de estações totais robotizadas voltado à auscultação geodésica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), UFPR, Curitiba, 2008.

PEREIRA, J. B. J. **Comunicação de dados**. 2. ed. Apostila do CEFET - Goiás. Goiás, 2002.

TEUNISSEN, P.J.G. **Testing theory: an introduction**. Delft: Delft University Press, 2000.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Structural deformation surveying**. Engineer Manual. [S.I], 2002a.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Survey markers and monumentation**. Engineer Manual. [S.I], 2002b.