

# ESTUDOS DE CONFIABILIDADE EM UMA REDE GEODÉSICA

CAROLINA COLLISCHONN, IVANDRO KLEIN, MARCELO TOMIO MATSUOKA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Laboratório de Pesquisas em Geodésia - LAGEO

Instituto de Geociências - IGEO

{carol.collischonn, ivandroklein, tomiomatsuoka}@gmail.com

## ABSTRACT

In the adjustment of observations, statistical tests are performed to detect and identify gross error in the observations. The tests most commonly used for this purpose are the Global Test and Data Snooping. This paper presents a study of reliability of a GPS network. The minimal detectable bias (MDB) for each observation was estimated and analyzed. The results showed that the MDB is about 4-6 times larger than the standard deviation of observations. Knowing the MDB for each observation were inserted errors in the observations in four different scenarios in order to analyze the efficiency of the test Data Snooping.

**Key words:** geodetic networks, gross error, data snooping, reliability measures.

## 1 INTRODUÇÃO

A Geodésia utiliza observações para estimar parâmetros incógnitos que representam alguma realidade física que se deseja estudar. O ajustamento de observações tem por objetivo proporcionar uma solução única para problemas onde o número de observações é redundante e o sistema de equações inconsistente, bem como, a estimativa da precisão da solução adotada. A solução única é dada pelo Método dos mínimos Quadrados (MMQ). As observações podem estar contaminadas por erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros (GEMAEL, 1994). Do ponto de vista estatístico, observações com erros grosseiros não podem ser consideradas como pertencentes a amostra, não podendo ser usadas com as outras observações. Dessa forma, é importante ter técnicas para detecção e identificação de erros grosseiros nas observações (TEUNISSEN, 2000).

Existem duas principais razões para o uso de observações redundantes no ajustamento (TEUNISSEN, 2000). A primeira visa melhorar a acurácia dos resultados estimados. A segunda visa detectar a possível presença de erros nos modelos e ou nas observações. A redundância de dados possibilita a aplicação de controle de qualidade nos resultados do ajustamento. A confiabilidade é um fator considerado no controle de qualidade e descreve a capacidade das observações em detectar erros nos

modelos e/ou nas observações, com certo nível de probabilidade.

Nesse estudo serão abordados aspectos de confiabilidade, avaliando a qualidade do ajustamento das observações. Será realizado o ajustamento de uma rede GPS, e apresentada a análise da mesma, a partir da qual será realizada a aplicação da teoria de controle de qualidade, a partir da análise de confiabilidade. Após, serão feitos experimentos na mesma rede, inserindo-se erro proposital nas observações, a fim de se verificar a eficiência dos testes estatísticos para a detecção e identificação das observações com erros grosseiros.

## 2 RESULTADOS E ANÁLISES

Os experimentos realizados simulam diferentes cenários em uma rede GPS (Global Positioning System). A rede geodésica utilizada nesse estudo é uma rede tridimensional GPS, composta por dados reais, obtida de GUILANI E WOLF (2006), conforme ilustra a figura:

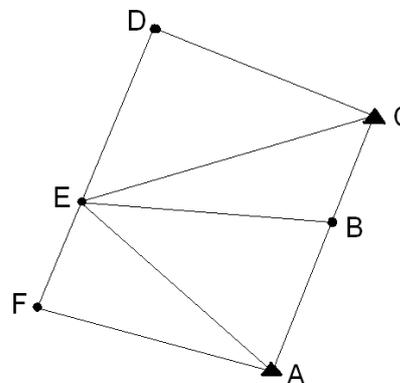


Figura 1 – Rede GPS utilizada nos experimentos.

Fonte: Ghilani e Wolf (2006)

Analisando a figura 1 pode-se observar que a rede se constitui de seis vértices (pontos com coordenadas cartesianas geocêntricas – X Y Z) e, de 9 linhas-base, sendo os vértices A e C pontos de controle (com coordenadas injuncionadas de maneira absoluta, materializando o referencial). Portanto, o número de observações é  $9 \times 3 = 27$  (componentes  $\Delta X$   $\Delta Y$   $\Delta Z$  de cada uma das linhas-bases), o número de incógnitas é  $4 \times 3 = 12$  (coordenadas X Y Z dos vértices desconhecidos da rede). O comprimento das linhas-base é aproximadamente

de 1 km, e a precisão de cada componente das linhas-bases está entre 2 mm e 9 mm. Os valores detalhados podem ser obtidos em Ghilani e Wolf (2006, p.341).

Foi realizado o ajustamento da rede utilizando o método paramétrico, e posteriormente foi aplicado o Teste Global do Ajustamento e o Teste Data Snooping (Baarda, 1968). O ajustamento foi aceito no Teste Global com nível de significância  $\alpha = 0,06$ , e nenhuma observação foi identificada pelo Teste Data Snooping (com nível de significância  $\alpha = 0,001$ ) como contendo erro grosseiro. É interessante salientar que o nível de significância do Teste Global é estipulado em função do nível de significância arbitrado no teste Data Snooping, para garantir o mesmo Poder do Teste para ambos (TEUNISSEN, 2000).

Posteriormente, para se ter uma estimativa da eficiência do Teste Data Snooping na rede que foi ajustada, foi realizado a análise de Confiabilidade Interna da rede, ou seja, foram estimados os valores de Menor Erro Detectável (MDB) de cada observação, considerando um nível de significância de 0,001 (0,1%) e Poder do Teste de 0,80 (80%). Também foram calculados valores para o número de redundância de cada observação ( $r$ ). As fórmulas para obtenção do MDB e de  $r$  podem ser obtidas, por exemplo, em Teunissen (2000) e Klein (2012). Os valores de MDB das observações ficaram entre 2 e 4 cm, estando em torno de 4 a 6 vezes maior do que o valor do desvio padrão das observações.

Com base nos valores de MDB das observações, foram realizados quatro experimentos de inserção de erros proposítas nas observações da rede. No primeiro experimento foi inserido um erro de 2 cm na observação  $\Delta X_{EF}$ , que é menor do que o valor de MDB desta observação (4 cm). E, de fato, realizando novamente o ajustamento e aplicando o teste Data Snooping a observação não foi identificada, mostrando que o MDB está bem adequado.

No segundo experimento foi inserido um erro de -5 cm na observação  $\Delta X_{EF}$ , ou seja, maior do que o seu MDB (4 cm). Após a realização do ajustamento a observação foi identificada pelo teste Data Snooping, o que seria esperado com base no valor do MDB.

No terceiro experimento um erro de 50 cm foi inserido na observação  $\Delta Z_{EF}$  e também na  $\Delta Z_{AF}$ . Nesta situação, depois de realizado o ajustamento, o teste Data Snooping não identificou nenhuma observação suspeita, o que acarretou um erro na coordenada Z do vértice F da rede. Este é um exemplo de como o teste Data Snooping pode cair em “armadilha”, mesmo o erro inserido sendo muito maior do que o MDB das respectivas observações.

No quarto experimento também foi inserido um erro de 50 cm, só que agora nas observações  $\Delta Z_{EC}$  e  $\Delta Z_{EB}$ . Neste cenário, de fato, o Data Snooping identificou as observações corretamente. O que difere o experimento 4 do 3 é que para o vértice E se tem mais linhas bases envolvidas do que para o vértice F, ou seja, maior redundância.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS pela bolsa de IC da primeira autora, à FAPERGS/CAPES pelo fornecimento da bolsa de Doutorado do segundo autor, e ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Proc.n.307472/2009-4) do terceiro autor.

## REFERÊNCIAS

BAARDA, W. **A testing procedure for use in geodetic networks**. Publications on Geodesy, New Series, v. 2, n. 5, Delft: Netherlands Geodetic Commission, 1968.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Adjustment Computations: Spatial Data Analysis**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 611p.

KLEIN, I. **Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações Geodésicas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, UFRGS. 2012.

TEUNISSEN, P.J.G.. **Testing Theory: an introduction**. 2.ed. Delft: Ed. VSSD, 2006. 147p.