

Sessão: Geociências – Cartografia e Geodésia

1. INTRODUÇÃO

- Toda observação (medida) carrega consigo um erro aleatório e esse por sua vez é impossível de ser eliminado devido à própria restrição da medida (precisão) do equipamento e o método de medida utilizado.
- Em Geodésia, a fim maximizar os resultados trabalha-se com número de redundância alto e acabam entrando no processo de ajustamento de observações pelo MMQ, dados corrompidos por outras formas de erros, por exemplo, erros grosseiros e/ou erros sistemáticos e estes fazem com que o resultado final possa não ser acurado.
- A fim de resolver esse problema desenvolveram-se diferentes métodos para a detecção de outliers (erros não aleatórios) sendo o procedimento de teste Data Snooping – DS, apresentado em Baarda (1968).
- Para estimar qual a influência de erros (não detectados pelo DS) nos parâmetros estimados foi desenvolvida a teoria de confiabilidade que calcula qual o valor (em módulo) do menor erro não detectado pelo DS em cada observação (confiabilidade interna) após isso é calculado a influência de cada um destes possíveis erros nos parâmetros ajustados (confiabilidade externa).
- A análise de tensões (strain analysis) é uma abordagem puramente geométrica para analisar a deformação de um corpo físico em relação a algum estado inicial, logo a existência de outliers nas observações também produzem “deformações” nos parâmetros ajustados e essas são medidas através de três primitivas ou medidas de tensão (strain primitives or measures).
- Como a análise de tensões trata de forma rigorosa o potencial de deformação, mas suas fundamentações estatísticas são fracas, foi proposto combinar as vantagens desta abordagem com as da teoria de confiabilidade em uma única técnica denominada “análise de robustez” (VANÍČEK et al., 1990).

2. OBJETIVOS

- Esta pesquisa objetiva aplicar a análise de robustez em uma rede bidimensional topográfica local simulada e posterior análise dos resultados obtidos, para posterior ampliação da teoria proposta para redes tridimensionais contida em BERBER (2006).

3. MATERIAIS

- Rede topográfica: retirada de Klein (2013) com 18 observações e 12 parâmetros a serem estimados (6 coordenadas 2D), tendo somente um ponto de controle.
- Para realização dos cálculos envolvidos foi utilizado o programa Scilab 5.4.0 que é um software científico gratuito para computação numérica.

4. MÉTODOS

- Considerando que os possíveis deslocamentos dos pontos de uma rede geodésica sejam causados por erros (não detectados) nas observações, estes podem ser estimados por meio da confiabilidade externa, que na realidade é uma medida de confiabilidade interna, mas no espaço dos parâmetros ao invés de no espaço das observações (VANÍČEK et al., 1990).
- Mas, estas estimativas para os possíveis deslocamentos são *datum* dependentes, ou seja, dependem do referencial adotado e isso não acontece quando aplicamos a análise de robustez que é *datum* independente e fornece uma descrição mais detalhada do potencial de deformação de uma rede ponto a ponto, por meio de três primitivas ou medidas de tensão, sendo estas: dilatação média (σ_{max} , ω_{max} , γ_{max}), rotação diferencial média e o cisalhamento total.
- Portanto, a “robustez” de uma rede deve ser compreendida como a capacidade da rede em resistir a deformações causadas por erros não detectados nas observações (VANÍČEK et al., 1990).

- Após termos calculado a confiabilidade interna e externa podemos aplicar a análise de robustez e calcular os elementos da matriz de deformação sobre um ponto “i” da rede, segundo a expressão abaixo:

$$e_i = (B^T B)^{-1} B^T \Delta u \quad (1)$$

- Onde Δu é um vetor contendo as diferenças de deslocamentos (valores de confiabilidade externa) entre o ponto P_i e cada um dos k pontos considerados, B é uma matriz, contendo zeros e/ou as diferenças de coordenadas entre o ponto P_i e cada um dos k pontos considerados, e_i é o vetor contendo os gradientes de deslocamento (elementos da matriz de deformação em P_i), ou seja:

$$e_i^T = \left[\frac{\partial \Delta x_i}{\partial x} \quad \frac{\partial \Delta x_i}{\partial y} \quad \frac{\partial \Delta y_i}{\partial x} \quad \frac{\partial \Delta y_i}{\partial y} \right]^T \quad (2)$$

- Após o cálculo dos 4 elementos da matriz de deformação podemos calcular as três primitivas de tensão (conforme as equações abaixo), afim de se obter medidas que independam do *datum* adotado, e que apresentem uma interpretação mais conveniente e ilustrativa.

$$\sigma = \frac{1}{2} \text{traço}(E_i) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Delta x_i}{\partial x} + \frac{\partial \Delta y_i}{\partial y} \right)$$

$$\omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Delta y_i}{\partial x} - \frac{\partial \Delta x_i}{\partial y} \right) \quad (3)$$

$$\gamma = \sqrt{\tau^2 + \nu^2}; \tau = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Delta x_i}{\partial x} - \frac{\partial \Delta y_i}{\partial y} \right); \nu = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Delta x_i}{\partial y} + \frac{\partial \Delta y_i}{\partial x} \right)$$

- Onde: σ é a dilatação média, ω é a rotação diferencial média, γ o cisalhamento total, τ corresponde ao cisalhamento puro (pure shear) e ν corresponde ao cisalhamento simples. Sobre as unidades, σ e γ são grandezas adimensionais, enquanto ω é expressa em radianos.

5. RESULTADOS

- Na tabela 1, abaixo, segue os parâmetros de robustez calculados para a rede topográfica simulada ilustrada na figura 1.

Vértice	σ_{max}	ω_{max}	γ_{max}
B	6,30	38,52	15,12
C	12,10	33,85	18,37
D	36,00	71,88	67,53
E	30,98	31,83	28,66
F	9,93	33,54	15,24
G	8,71	33,04	18,14

Tabela 1 – σ_{max} e γ_{max} em ppm (partes por milhão) e ω_{max} em μrad .

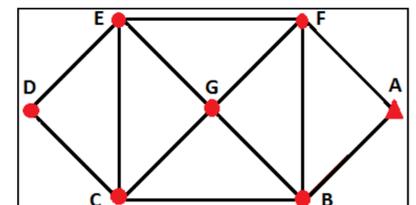


Figura 1 – Poligonal topográfica no plano local simulado.

6. CONCLUSÃO

- Os resultados já eram esperados, pois o vértice D (o que obteve os piores resultados, ou seja, os parâmetros de robustez mais elevados) é o ponto mais afastado do ponto de controle da rede (ponto A). Os resultados prévios demonstram que os parâmetros de robustez fornecem uma análise do potencial de deformação de uma rede geodésica diferente da obtida por meio da teoria de confiabilidade, pois, além de se saber qual o tipo de deficiência e como tratá-la esta análise é *datum* independente. Logo, se uma rede está com deficiência em rotação (ω) tem-se que acrescentar observações de ângulo e distância, se está com deficiência em escala deve-se adicionar observações de distância. Este estudo inicial se limita a redes bidimensionais, para trabalhos futuros a teoria pode ser ampliada para redes tridimensionais podendo ser aplicadas a redes GNSS (*Global Navigation Satellite System*), maiores detalhes em BERBER (2006).

REFERÊNCIAS

- KLEIN, I., 2012. Controle de qualidade no ajustamento de observações geodésicas. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- BAARDA, W., 1968. A testing procedure for use in geodetic networks. Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series.
- BERBER, M. Robustness Analysis of Geodetic Networks. Ph.D. Dissertation - Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada, 2006.
- ONG, P. J. Robustness Analysis for Geodetic Networks. Master of Science Thesis in Engineering, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada, 1993.
- VANÍČEK, P.; KRAKIWSKY, E. J.; CRAYMER, M. R.; GAO, Y.; ONG, P. J. Robustness analysis. Final contract report, Department of Surveying Engineering Technical Report No. 156, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1990.

Modalidade da bolsa: **CNPQ/PIBIC**