

## UMA NOVA ABORDAGEM APLICADA À ANÁLISE DE DEFORMAÇÃO GEODÉSICA

Lincon Rodrigues Silva<sup>1</sup>, Jhonatta Willyan Miato Assunção<sup>2</sup>, Valdiney José da Silva<sup>3</sup>, Marcelo Tomio Matsuoka<sup>4</sup>, Vinicius Francisco Rofatto<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Feseral de Uberlândia – silvarlincon201@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Feseral de Uberlândia – jhonatta.assuncao@ufu.br

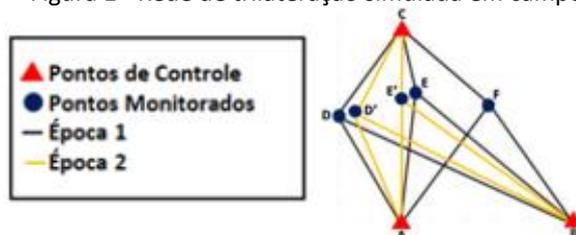
<sup>3</sup>Universidade Feseral de Uberlândia – valdiney@ufu.br

<sup>4</sup>Universidade Feseral de Uberlândia – tomiomatsuoka@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Feseral de Uberlândia –  
vfrofatto@gmail.com

A prática do monitoramento de estruturas, sejam elas artificiais ou naturais, é de fundamental importância, visto que o monitoramento pode prevenir catástrofes ambientais, econômicas e, em casos mais preocupantes, a perda de vidas. A negligência de tal prática pode resultar em tragédias, como aconteceu com o rompimento da barragem em Brumadinho – MG e o desmoronamento de um paredão de rocha em Capitólio – MG. Segundo [ 1 ], uma rede geodésica consiste em um conjunto de pontos estáveis e identificáveis localizados na superfície da Terra ou próximos a ela [ 2 ]. Suas posições estão associadas a um sistema de referência de coordenadas. Esses pontos são referidos como pontos de controle. Como os pontos se deslocam com o passar do tempo, uma rede geodésica funciona como um sistema de monitoramento de estruturas. Nesta presente pesquisa é apresentada uma nova metodologia que está em desenvolvimento pelo o grupo de pesquisa em Controle de Qualidade e Inteligência Computacional em Geodésia, a qual não parte do conhecimento a priori de quais são os pontos estáveis (pontos de controle) ou instáveis (pontos a serem monitorados), partindo do pressuposto que, a priori, todos os pontos são instáveis e, sendo assim, estão sujeitos a serem testados. Este novo método é interessante em relação ao método convencional de análise de deformação (teste de congruência global), pois não é analisada a diferença entre as coordenadas calculadas estimadas em diferentes épocas; a análise é feita apenas com relação às diferenças das observações em diferentes épocas, semelhante ao observado em [ 3 ], tendo por objetivo, por meio do teste estatístico denominado '*Sequential Likelihood Ratio Tests for Multiple Outliers*' (SLRTMO), proposto [ 4 ], a identificação de múltiplos deslocamentos simultâneos. Para a aplicação desta nova abordagem foi simulada em campo, utilizando uma estação total com precisão de 2mm + 2ppm, uma rede de trilateração (Figura 1) com 6 pontos, na qual 3 são pontos de controle (pontos vermelhos) e os outros 3 pontos a serem monitorados (pontos azuis).

Figura 1 - Rede de trilateração simulada em campo



Foi realizado propositalmente um deslocamento nos pontos D e E. As linhas pretas são referentes à época 1 (época sem deslocamento) (Equação 1) e as linhas amarelas são referentes às observações que sofreram alteração devido ao deslocamento dos pontos D' e E' na época 2 (época com deslocamento) (Equação 2).

$$y_1 = L_0 + e_1 \quad (1)$$

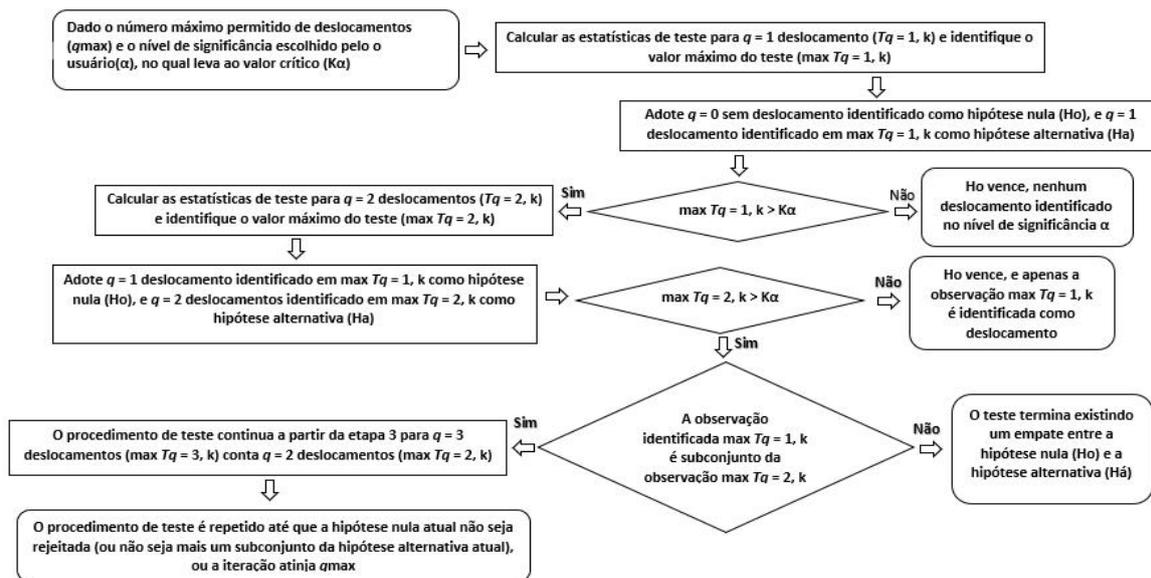
$$y_2 = L_0 + e_2 + D \quad (2)$$

onde  $y_1$  = época sem deslocamento,  $n$  = número de observações,  $L_0$  = é o vetor do verdadeiro valor das observações  $n \times 1$ , sem nenhum erro, nem deslocamento,  $e_1$  = vetor dos erros aleatórios  $n \times 1$  referente à época sem deslocamento,  $y_2$  = época com deslocamento,  $e_2$  = vetor dos erros aleatórios  $n \times 1$  referente a época com deslocamento,  $D$  = deslocamento. A seguir foi realizado o cálculo das diferenças das observações em diferentes épocas (Equação 3).

$$\Delta y = e_2 + D - e_1 \quad (3)$$

O fluxograma (Figura 2) descreve o passo a passo da metodologia.

Figura 2 - Fluxograma



Foram feitas 23 campanhas, na rede simulada em campo, sendo que em cada campanha foram deslocados propositalmente 1, 2 ou 3 pontos simultâneos em diferentes quadrantes, assumindo que as campanhas já passaram por testes estatísticos e estão livres de *outliers*. Foram alcançados resultados bastante significativos, como mostra a Tabela 1, obtendo-se uma taxa de acerto de 73,91%. Foram realizadas também campanhas sem deslocamentos, a fim de verificar a presença de falsos positivos. Contudo, em nenhum dos casos foi detectado deslocamento quando este de fato não ocorreu. Esta pesquisa trata de uma nova abordagem para a identificação de múltiplos deslocamentos, na qual é dispensável calcular as coordenadas dos pontos monitorados. Dessa forma, não é necessário definir a origem e orientação da rede, tampouco a utilização de coordenadas conhecidas, afastando-se do problema de definição de datum, e registrando-se apenas ao monitoramento a partir das observações. A metodologia vem recebendo novas contribuições, com a implementação do algoritmo no contexto do método Monte Carlo [ 5 ], como forma de fornecer ao usuário a possibilidade de saber previamente se a geometria da rede e a precisão das observações atendem aos critérios já pré estabelecidos para o projeto, permitindo também estimar o(s) menor(es) deslocamento(s) identificável(is).

Tabela 1 – Resultados

Tipo de Ocorrência	Ocorrência
Correta identificação	73,91 %
Erro do Tipo 3	17,39%
Sub-identificação	4,35%
Sobre-identificação	0%
Empate	4,35%

**Palavras-chaves:** Geodésia; Estatística; Controle de Qualidade; Monitoramento; Teste de Hipóteses; Simulação Numérica.

#### Referências

- [1] MATSUOKA, M. T. et al. Control Points Selection Based on Maximum External Reliability for Designing Geodetic Networks. **Applied Sciences**, v. 10, n. 2, p. 687, 1 jan. 2020.
- [2] Klein, I.; Matsuoka, MT; Guzatto, MP; Nievinski, FG; Veronez, MR; Rofatto, VF Uma nova relação entre os critérios de qualidade para redes geodésicas. **J. Geod.** 2019 , 93 , 529–544.
- [3] ERDOGAN, B.; HEKIMOGLU, S.; DURDAG, U. M. A new univariate deformation analysis approach considering displacements as model errors. **Studia Geophysica et Geodaetica**, v. 65, n. 1, p. 1–14, jan. 2021.
- [4] KLEIN, I.; MATSUOKA, M. T.; M. P. Guzatto & F. G. Nievinski An approach to identify multiple outliers based on sequential likelihood ratio tests. **Survey Review**, v. 49, n. 357, agost. 2016.
- [5] ROFATTO, V. F. et al. A Monte Carlo-Based Outlier Diagnosis Method for Sensitivity Analysis. **Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 860, 6 mar. 2020.