

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DE OBSERVAÇÕES CORRELACIONADAS USANDO SIMULAÇÕES PELO MÉTODO MONTE CARLO

IVANDRO KLEIN (1)
MARCELO TOMIO MATSUOKA (1)
MATHEUS PEREIRA GUZATTO (1)
SERGIO FLORENCIO DE SOUZA (1)
MAURICIO ROBERTO VERONEZ (2)

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Geodésia

Laboratório de Pesquisas em Geodésia (LAGEO), Porto Alegre - RS
ivandroklein@gmail.com, tomiomatsuoka@gmail.com, matheuspguzattogmail.com,
sergioflorenciodesouza@gmail.com

(2) Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Ciências Exatas e Tecnológicas

Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital (LASERCA), São Leopoldo - RS
veronez@unisinis.br

O controle de qualidade de observações geodésicas tem sido amplamente investigado desde o trabalho pioneiro do geodesta Baarda em 1968. Duas das estratégias mais utilizadas consistem nos procedimentos de testes estatísticos e nos métodos de estimação robusta. No entanto, ambas as estratégias têm algumas limitações. Por exemplo, a maioria dos procedimentos de testes estatísticos utilizados baseiam-se no pressuposto de somente um único *outlier*, e a maioria dos métodos de estimação robusta disponíveis só são aplicáveis para observações não correlacionadas. Na prática, as observações em um conjunto de dados podem ser correlacionadas e conter mais do que um *outlier*, como no caso do ajustamento de redes GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Desta forma, outras abordagens têm sido propostas, tais como o método QUAD (*QUasi-Accurate Detection of outliers*) para observações correlacionadas, testes estatísticos para múltiplos *outliers*, e estimadores robustos para observações correlacionadas. Tais métodos são relativamente recentes e ainda necessitam de uma investigação mais aprofundada, conforme apontado por seus próprios autores. Dentro deste contexto, este trabalho avalia, compara e discute diferentes métodos de controle de qualidade encontrados na Literatura, no casogeral de observações correlacionadas e com múltiplos *outliers*. Os métodos analisados neste estudo são o procedimento de teste *data snooping* (DS), o *Danish method* adaptado para observações correlacionadas (DMCO), o estimador robusto para observações correlacionadas usando a função ψ de Huber (Huber CO), o método QUAD para observações correlacionadas (QUAD), o *robust estimator for correlated observations based on sensitivity downweighting strategy* (RECOLS), e os testes estatísticos para múltiplos *outliers* com base na razão de verossimilhança (Testes Tq, neste caso, foram considerados testes para $q = 2$ e $q = 3$ *outliers*). Para avaliar estes sete métodos, experimentos foram realizados em duas redes GNSS. Ambas as redes GNSS consistem de 36 observações (12 linhas-base independentes) e 12 incógnitas (coordenadas 3D de 4 vértices desconhecidos), contendo 24 graus de liberdade, porém, com geometrias/configurações diferentes. Uma das redes (Rede A) envolve 6 vértices da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), enquanto a outra rede (Rede B) foi retirada da Literatura. Para a Rede A, os coeficientes de correlação entre observações de uma mesma linha-base são relativamente altos (entre 0.2237 e 0.7962), enquanto para a Rede B, estes são relativamente baixos (entre 0.0085 e 0.0117). Em ambas as redes, usando o método Monte-Carlo, foram aleatoriamente gerados e inseridos erros propositais (*outliers*) nas observações (positivos e/ou negativos), com magnitudes variando entre 3σ e 9σ (sendo " σ " o desvio-padrão da respectiva observação), e os sete métodos foram aplicados e analisados em todos os cenários testados. Para isto, três casos foram considerados: Inserção de apenas um *outlier* nas observações, inserção de dois *outliers*, e inserção de três *outliers*, sendo que cada um destes três casos foi numericamente simulado 5.000 vezes, usando o método Monte-Carlo. Com base nos resultados destes experimentos, foram obtidas as taxas de sucesso de cada método (número de vezes que o método foi efetivo / número total de simulações). Para a Rede A, as taxas de sucesso dos métodos (em %), para os cenários simulados de 1, 2 e 3 *outliers* inseridos, respectivamente, foram de: DS (81.10; 61.50; 37.58), DMCO (85.34; 69.58; 56.66), Huber CO (88.20; 74.34; 62.70), RECOLS (87.72; 73.14; 60.52), QUAD (64.76; 53.98; 40.98), Tq = 2 (87.94; 88.94; 91.74), Tq =

3 (92.02; 90.30; 82.36). Para a Rede B, as taxas de sucesso dos métodos (em %), para os cenários simulados de 1, 2 e 3 *outliers* inseridos, respectivamente, foram de: DS (96.24; 88.45; 64.58), DMCO (88.94; 75.06; 63.14), Huber CO (54.68; 40.56; 30.62), RECOLS (77.80; 57.38; 42.34), QUAD (29.06; 10.56; 4.50), $T_q = 2$ (97.14; 94.12; 91.54), $T_q = 3$ (97.64; 93.18; 89.14). Analisando estes resultados, nota-se que, para ambas as redes, em geral, conforme o número de *outliers* aumenta, a taxa de sucesso de todos os métodos diminui. Os testes estatísticos para $T_q = 2$ e $T_q = 3$ *outliers* apresentaram as maiores taxas de sucesso para ambas as redes (entre 82% e 98% para todos os casos testados), enquanto o método QUAD apresentou as menores taxas de sucesso para ambas as redes, bem como as maiores variações (entre 65% e 4% para os casos testados). Sobre os métodos de estimação robusta, o DMCO apresentou os melhores resultados em ambas as redes, e o seu desempenho foi entre 5% e 10% melhor na Rede A (cuja correlações das observações são maiores) do que na Rede B, enquanto os métodos Huber CO e RECOLS tiveram desempenho melhor na Rede B (cuja correlações das observações são menores). O DS teve a taxa de sucesso muito mais afetada na Rede B (entre 82% e 37%) do que na Rede A (entre 97% e 64%). Um trabalho com discussões mais detalhadas a respeito destes resultados está sendo elaborado pelos autores para futura publicação.