

CONFIABILIDADE DO TESTE TAU NO CONTROLE DE QUALIDADE DE OBSERVAÇÕES GEODÉSICAS

CAIQUE EDUARDO DE JESUS NASCIMENTO SIMIONATO 1¹

IVANDRO KLEIN 2²

MARCELO TOMIO MATSUOKA 3³

VINICIUS FRANCISCO ROFATTO 4⁴

¹Universidade Federal de Uberlândia 1 – caiquesimionato@ufu.br 1

²Instituto Federal de Santa Catarina 2 – ivandroklein@gmail.com 2

³Universidade Federal de Uberlândia 3 – tomiomatsuoka@gmail.com 3

⁴Universidade Federal de Uberlândia 4 – vfroatto@gmail.com 4

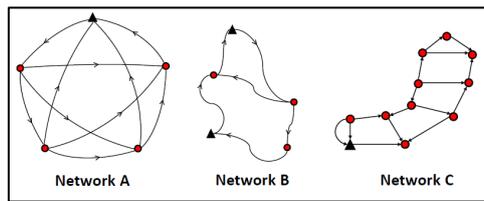
O Teste Tau ou Teste Tau Pope [1] é um método para detecção de outliers em inúmeras análises geodésicas, por exemplo coordenadas provenientes de técnicas geodésicas espaciais [2], controle de observações angulares e lineares em levantamentos topográficos [3], entre outras áreas que necessitam de teste de detecção de outliers. Outlier é uma observação que se afastou de seu valor mais provável a ponto de não pertencer ao modelo matemático estipulado [4], para detectar tais outliers empregamos testes estáticos para essa detecção [5,6,1]. O Data snooping é um dos métodos mais bem estabelecidos para processar observações geodésicas contaminadas por outliers [5]. Esse método é aplicado quando o fator de variância das observações é conhecido *a priori*, porém, muitas ocasiões o fator de variância das observações *a priori* é desconhecido, assim, aplicamos o teste Tau [1] que é estimado pelo fator de variância *a posteriori* que é obtido após o ajustamento das observações. O procedimento consiste em verificar cada observação individualmente quanto à presença de outlier. A estatística de teste envolvida no Teste Tau é dada pelo resíduo normalizado [5] sobre a razão das variâncias *a priori* e *a posteriori* e conhecida por τ [1]. O modelo sob a hipótese nula \mathcal{H}_0 é frequentemente formulada sob a condição de ausência de outliers, enquanto o modelo alternativo (hipótese alternativa \mathcal{H}_a) é proposto quando existe pelo menos um outlier no conjunto de dados. Para verificar se a hipótese alternativa é significativa ou não (ou seja, se aceitamos ou rejeitamos a hipótese nula), a estatística τ é comparada com seu valor crítico “k” (ou seja, o percentual crítico de sua distribuição probabilística), que pode ser obtida da distribuição Tau $\tau(r-1)$, onde ‘r’ é a redundância (ou seja, os graus de liberdade). O DS envolve não somente múltiplas hipóteses alternativas, mas também múltiplas rodadas de estimação, teste e adaptação [7]. O problema de múltiplas hipóteses alternativas ocorre quando n testes de hipóteses individuais são considerados simultaneamente. Isso significa testar \mathcal{H}_0 contra $\mathcal{H}_a^{(1)}, \mathcal{H}_a^{(2)}, \dots, \mathcal{H}_a^{(n)}$. Assumindo que os testes individuais são independentes e que o nível de significância de cada teste é α_0 , então a probabilidade de que a verdadeira hipótese nula \mathcal{H}_0 seja rejeitada por pelo menos uma hipótese alternativa é $\alpha' = n\alpha_0$ [8]. Aplicamos o procedimento Monte Carlo para capturar a dependência entre as estatísticas de teste, conforme descrito em [7], os experimentos foram conduzidos considerando 3 redes geodésicas, cada qual com suas respectivas características em termos de redundância local (r_i) e correlação absoluta entre as estatísticas de teste ($|\rho_{wi,wj}|$) (Tabela 1). A correlação $|\rho_{wi,wj}|$ descreve o grau com que cada w -test está linearmente correlacionado. A correlação $|\rho_{wi,wj}|$ varia entre 0 e 1. Isso significa que quanto maior a correlação, mais difícil é identificar um outlier. O método proposto (Figura 2) foi utilizado para obtenção dos valores de α' para cada rede geodésica. O método descrito em [7] foi empregado para avaliar a capacidade de cada rede (Figura 1) em identificar e remover possíveis outliers, conforme procedimento DS. Para isso, foram testadas diferentes escolhas de α' . A figura de 3 mostra a curva de probabilidade de correta identificação em função da magnitude do outlier de cada uma das 3 redes geodésicas analisadas. Em geral, observou-se que para magnitude de outliers pequenos ($< 4\sigma$) o $\alpha' = 5,0$ (50%) – *linha na cor roxo* teve uma alta taxa de correta identificação, porém, para magnitudes grandes ($> 5\sigma$) os $\alpha' = 1,0$ (10%) – *linha na cor azul*, e $\alpha' = 0,5$ (5%) – *linha na cor amarelo* tiveram uma taxa de correta identificação maior que o $\alpha' = 5,0$ (50%). Os resultados mostram que o $\alpha' = 1,0$ (10%) – *linha na cor azul* obteve o melhor desempenho para as 3 redes geodésicas. Em trabalhos futuros, o teste *Tau* (τ -test) deverá ser avaliada utilizando a regra $\alpha' > 10\%$ e $\alpha' > 50\%$. Além disso, o cenário de múltiplos outliers também será objeto de estudo.

Tabela 1 – Caracterização das redes geodésicas

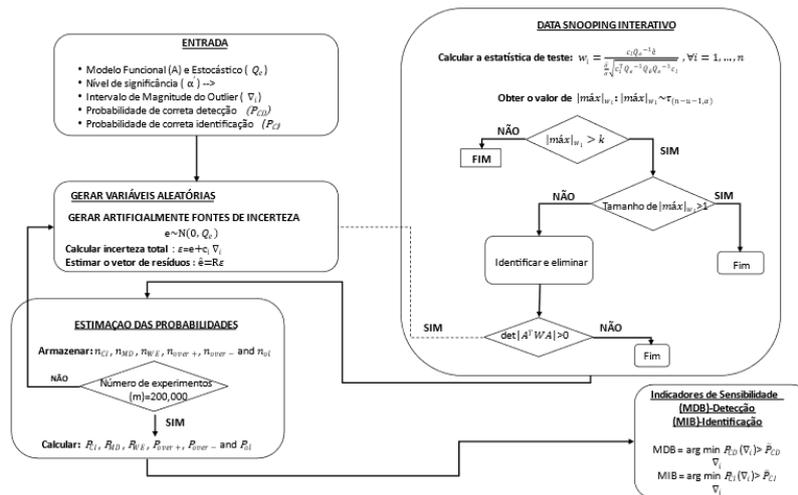
Rede (Network)	Média ($ \rho_{wi,wj} $)	Máximo ($ \rho_{wi,wj} $)	Mínimo ($ \rho_{wi,wj} $)
Rede A	0,2364	0,4146	0,0223
Rede B	0,7053	1	0,3643
Rede C	0,2064	1	0,0000

Fonte: Adaptado de Rofatto et al. (2021) [9].

Figura 1 – Redes Geodésicas Experimentais. O triângulo na cor preta refere-se ao ponto de controle, e os círculos em vermelho os pontos de coordenadas desconhecidas.

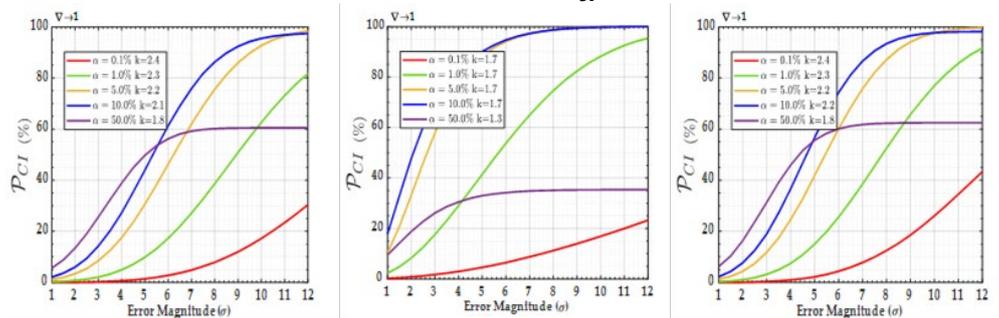


Fonte: Adaptado Rofatto et al. (2021) [9] (<https://data.mendeley.com/datasets/77sfpx9b74/6>)
 Figura 2 – Fluxograma baseado no Método de Monte Carlo



Fonte: Adaptado Rofatto et al. (2020) [7]

Figura 3 – Probabilidade da correta identificação (\mathcal{P}_{CI}) da rede geodesica A,B e C (Figura 1)



Fonte: Autor (2023)

Palavras-chaves: Controle de Qualidade; Teste de Hipótese; Outliers; Teste Tau; Confiabilidade; Redes Geodésicas.

Referências

[1] POPE, A. J. The statistics of residuals and the detection of outliers. NOAA Technical Rep. NOS65, v. 1, 1976.
 [2] DEAKIN, R. E. Tau Distribution and testing residuals. 2018.
 [3] MENDOÇA, F.J.B. et al. Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos UTM e topocêntrico. 2010.
 [4] ROFATTO, V. F. et al. Uma Extensão à Teoria da Confiabilidade em Geodésia. 2020.
 [5] BAARDA, W. 1968. A testing procedure for use in geodetic networks. [pdf] Delft: Publications on Geodesy, Netherlands Geodetic Commission.
 [6] LEHMANN, R. 3σ -Rule for Outlier Detection from the Viewpoint of Geodetic Adjustment. Journal of Surveying Engineering, v. 139, n. 4, p. 157–165, nov. 2013.
 [7] 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.
 [8] LEHMANN, R. Improved critical values for extreme normalized and studentized residuals in Gauss–Markov models. **Journal of Geodesy**, v. 86, n. 12, p. 1137–1146, 9 maio 2012.
 [9] ROFATTO, V. F. et al. An artificial neural network-based critical values for multiple hypothesis testing: data-snooping case. **Survey Review**, p. 1–16, 8 set. 2021.