UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

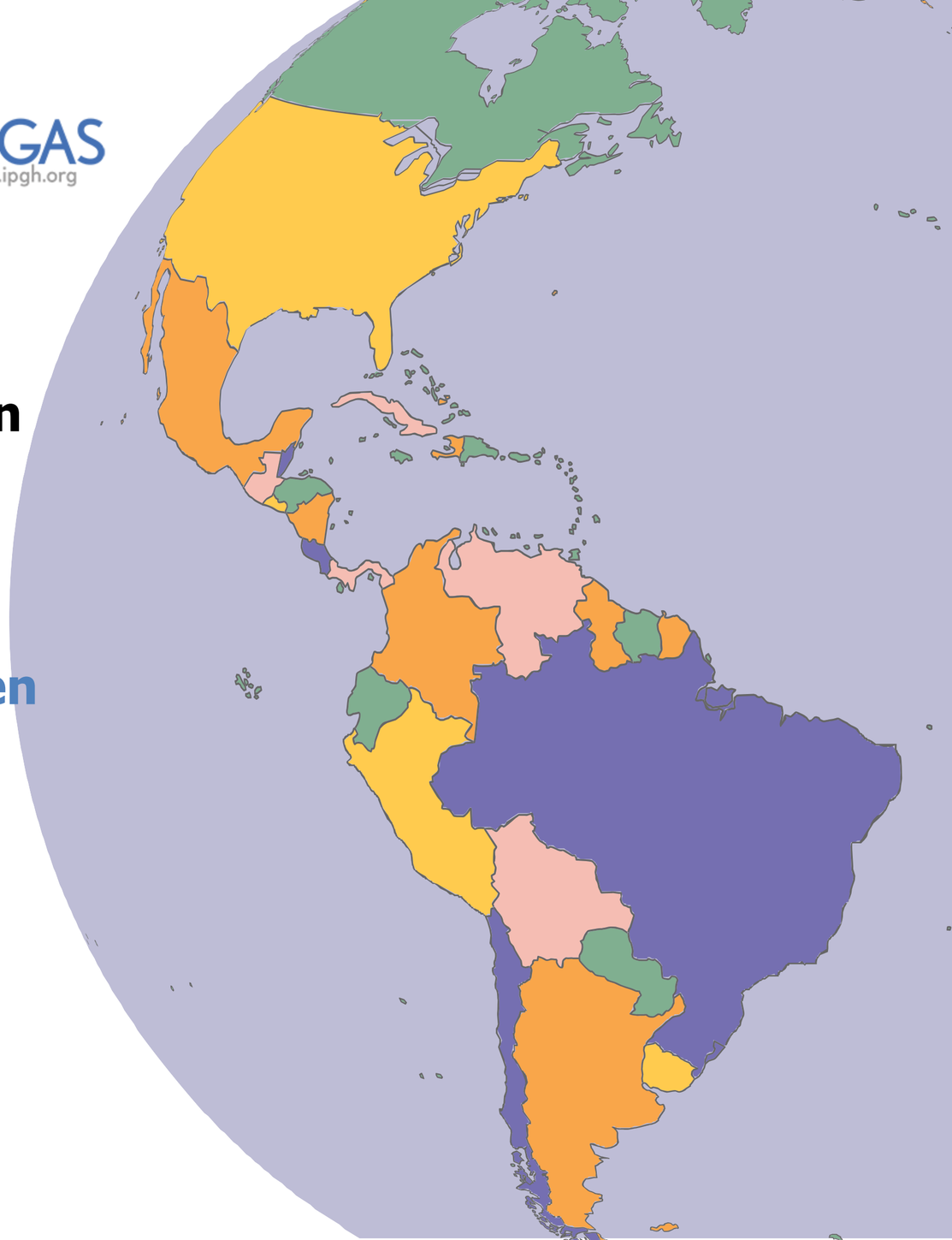
PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS GEODÉSICAS

EXÉRCITO
BRASILEIRO

SIRGAS
sirgas.ipgh.org

Linkage of normal heights obtained from GNSS and refined XGM2019 GGM to Imbituba Brazilian Vertical Datum using parametrical and geostatistical approaches / Vinculación de alturas normales obtenidas de GNSS y MGG XGM2019 refinado al Datum Vertical Brasileno en Imbituba utilizando enfoques paramétricos y geoestadísticos

Tiago Lima Rodrigues
Rodrigo Evangelista Delgado



Contenido

Contextualización
Metodología
Resultados
Conclusiones y trabajos futuros

Contextualización

- Desde 2018 – Red Altimétrica de Alta Precisión (RAAP) del Sistema Geodésico Brasileño (SGB) – Altitudes normales (reajuste basado en números geopotenciales);

- Alineamiento con los conceptos y métodos científicos modernos y el IHRS (IBGE, 2019);

- Sin embargo, mientras que el IHRF no está establecido, las altitudes están referenciadas a dos *data* verticales locales (NMM).

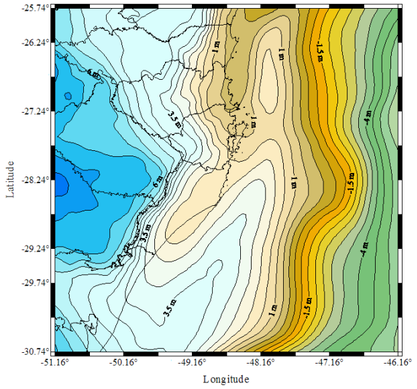
- Como obtener H^N en un dado punto?

IBGE,(2019)

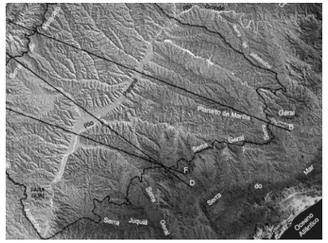
Contextualización

- Dentro de un cierto límite de precisión y acuracidad – cm o dm;

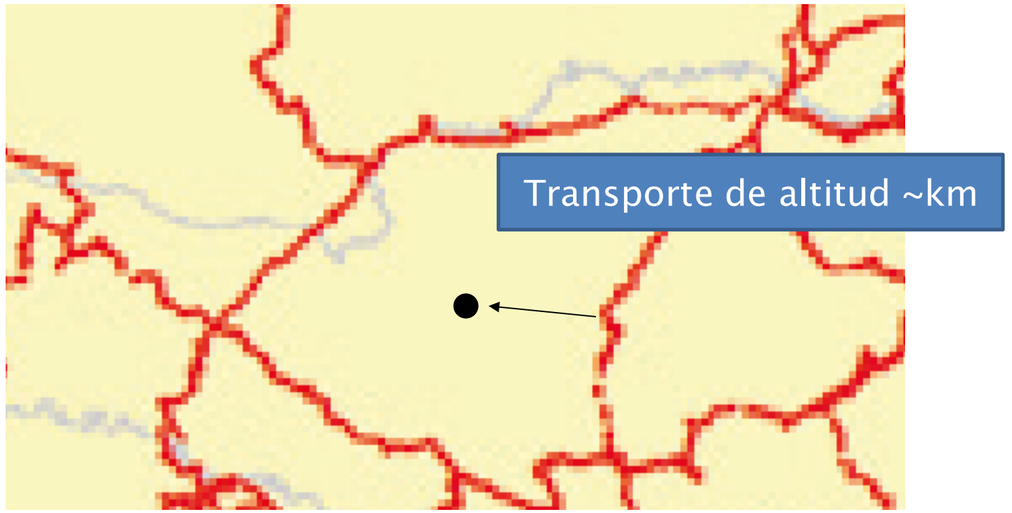
Sitech (2022)



Ferreira et al (2008)



Sallun et al (2007)



IBGE,(2019)

Cuando se tiene en cuenta el potencial de las masas topográficas residuales, se puede reducir el error de omisión (Heck & Seitz 2007; Hirt et al. 2010; Gerlach y Rummel 2012; Grombein et al. 2017)

Técnica RTM (Forsberg 1981)

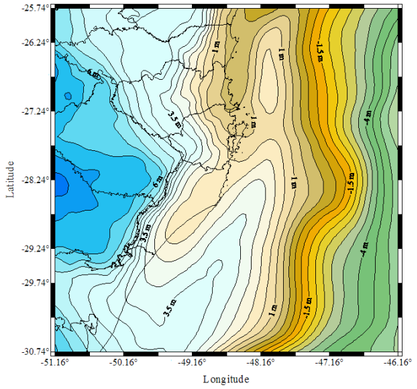
MGG refinado - $\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM}$

$$H^N = h - (\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM})$$

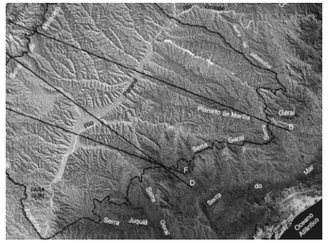
Contextualización

- Dentro de un cierto límite de precisión y acuracidad – cm o dm;

Sitech (2022)



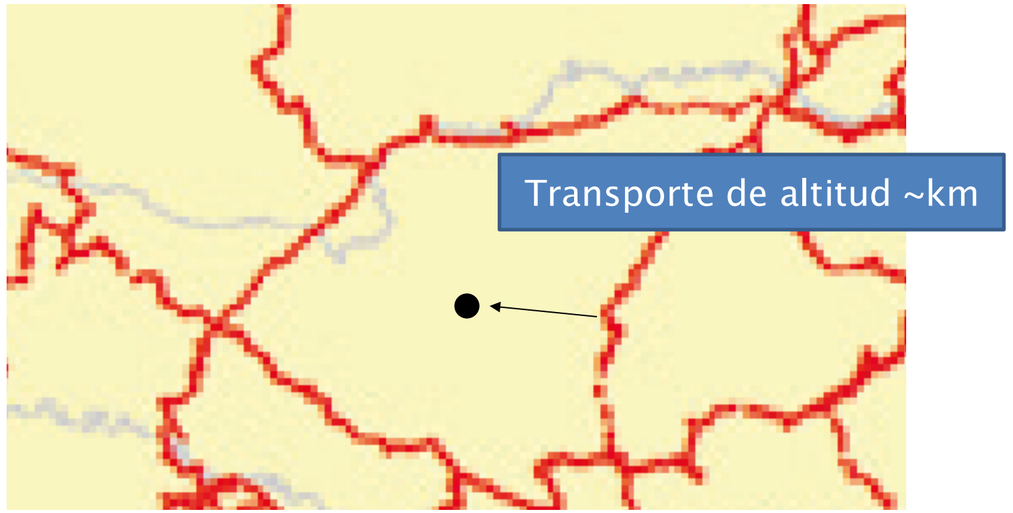
Ferreira et al (2008)



Sallun et al (2007)

Cuando se tiene en cuenta el potencial de las masas topográficas residuales, se puede reducir el error de omisión (Heck & Seitz 2007; Hirt et al. 2010; Gerlach y Rummel 2012; Grombein et al. 2017)

Técnica RTM (Forsberg 1981)



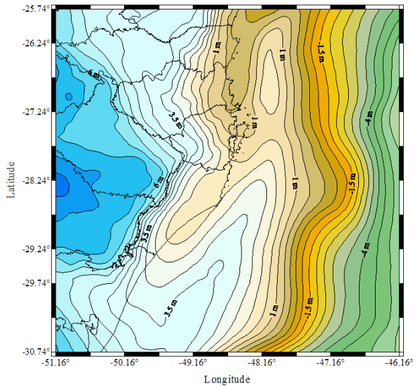
IBGE,(2019)

MGG refinado - $\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM}$

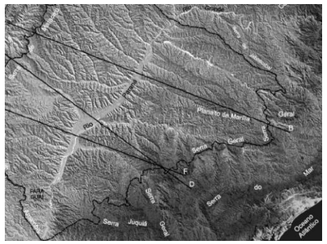
$$H^N = h - (\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM})$$

Pero, cual lo Sistema de Referencia Vertical (SRV)?

Sitech (2022)



Ferreira et al (2008)



Sallun et al (2007)

MGG refinado - $\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM}$

$$H^N = h - (\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM})$$

Sistema de Referencia Global particular de la solución MGG+MDE

≠

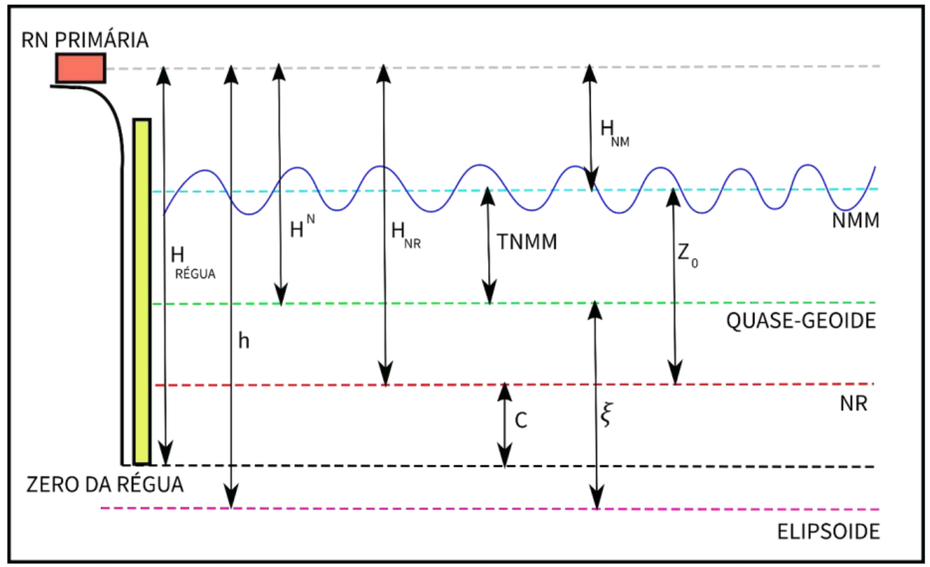
DVBI o DVBS

Bias que debe tenerse en cuenta

Estimación de parámetros de transformación entre los diferentes SRVs

En las últimas tres décadas:

- media de las discrepancias entre anomalías de altura (Kasenda, 2009; Grombein et al. 2017);
- valores de geopotenciales de nivel cero (Burša et al. 1999; De Freitas 2015; Sánchez et al. 2018; Ihde et al. 2017);
- Solución del problema del valor de contorno de la Geodesia (Rummel y Teunissen 1988; Xu 1992; Gerlach y Rummel 2013; Amjadiparvar et al. 2016; Grombein et al. 2016; Zhang et al., 2020).



Souza (2021)

Kotsakis et al. (2012);
Ferreira et al. (2016)

Estimación de parámetros de transformación entre los diferentes SRVs

Errores de omisión reminiscentes

Errores sistemáticos de mediciones diferentes en el nivelación

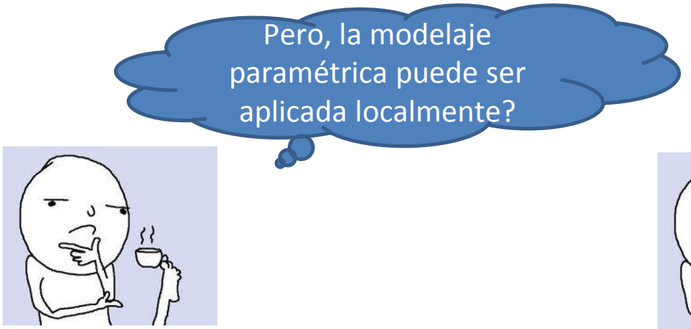
Distorsión de la red vertical

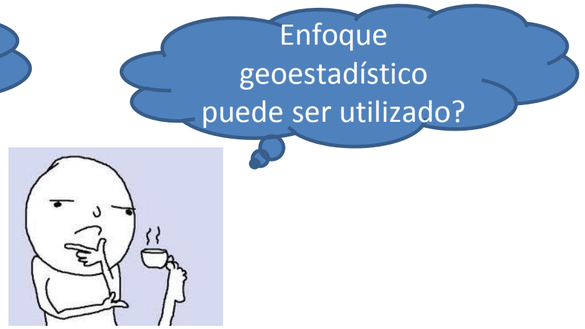
Observaciones referidas a épocas diferentes

Grombein et al. (2017)

Errores causan bias que varían regionalmente

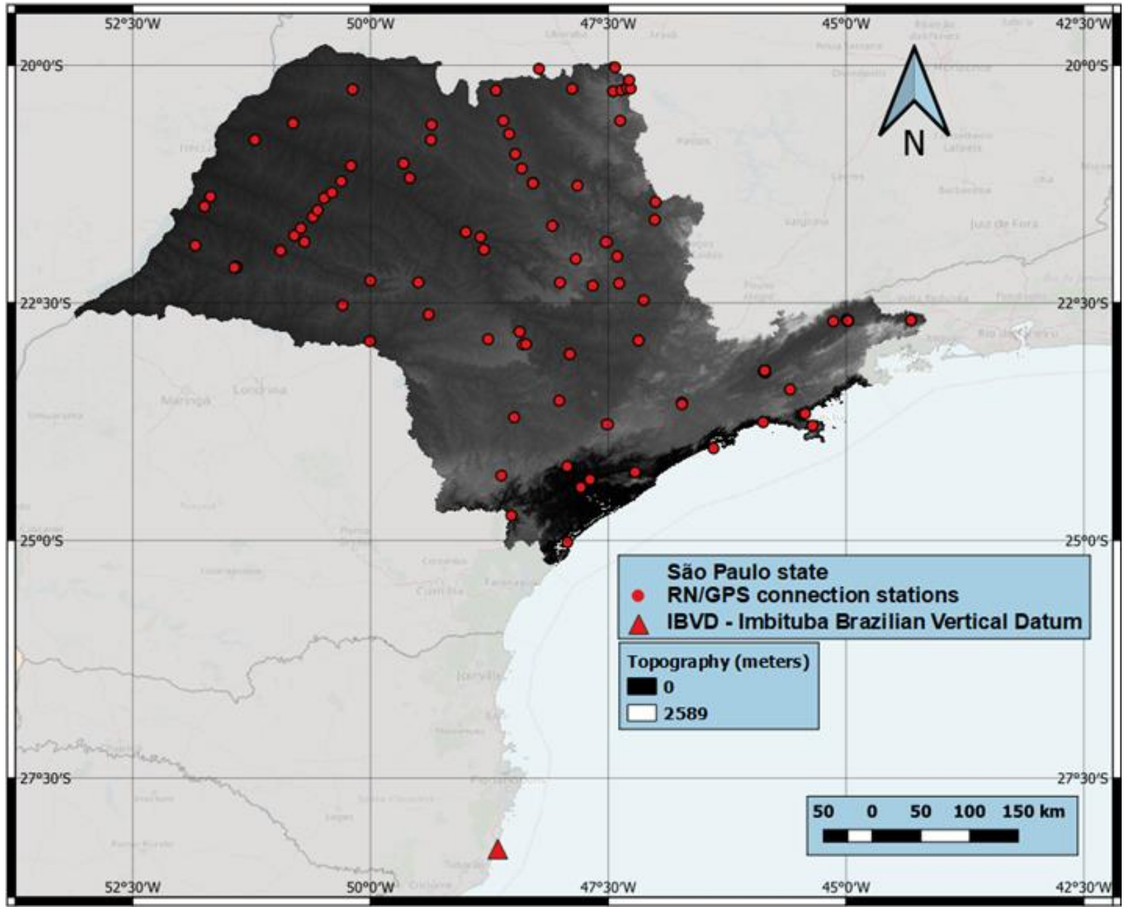
- Estimación de parámetros locales (Delgado e Rodrigues 2022a);
- Modelaje paramétrica en función de las coordenadas geodésicas (Kotsakis, et al. 2012; Rülke et al. 2012; Ferreira et al 2016; Grombein et al. 2017; Delgado e Rodrigues 2022b).

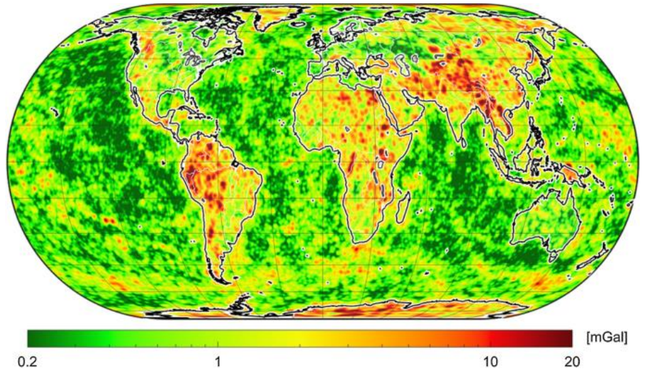




Objetivo del trabajo: analizar el uso de enfoques paramétricos y geoestadísticos para vincular las altitudes normales obtenidas por GNSS y por lo MGG XGM 2019e, refinado por la técnica RTM, al DVBI en una región de estudio en Brasil

Metodología





Zingerle et al. (2020)

Prismas rectangulares (Nagy et al 2000)– 200 km

SRTM15+ v2.1 (Tozer et al 2019) - MDS detallado – 450 m

ETOPO1 (Amante y Eakins 2009) - MDS de referencia – 9000 m

XGM2019e g/o 2190 ICGEM Calculation Service

ζ_{RTM}

ζ_{MGG}

$\zeta_{SGB} = h - H^N$

$\delta\zeta = \zeta_{SGB} - (\zeta_{MGG} + \zeta_{RTM})$

Empíricamente…

2/3 – puntos de referencia – estimación de parámetros

1/3 – puntos de verificación – evaluar la calidad de la transformación

Sistema de marea media - Rapp (1989)

Modelajes paramétricas

MATLAB

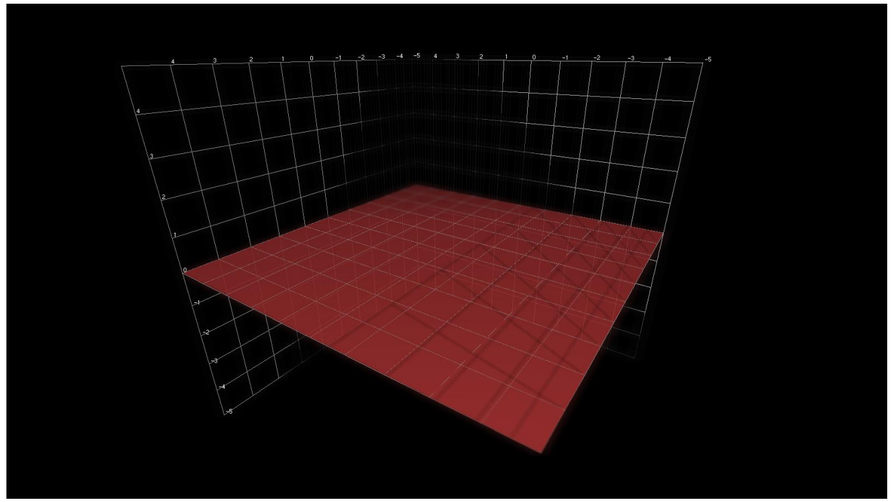
Rülke et al. (2012); Grombein et al (2017)

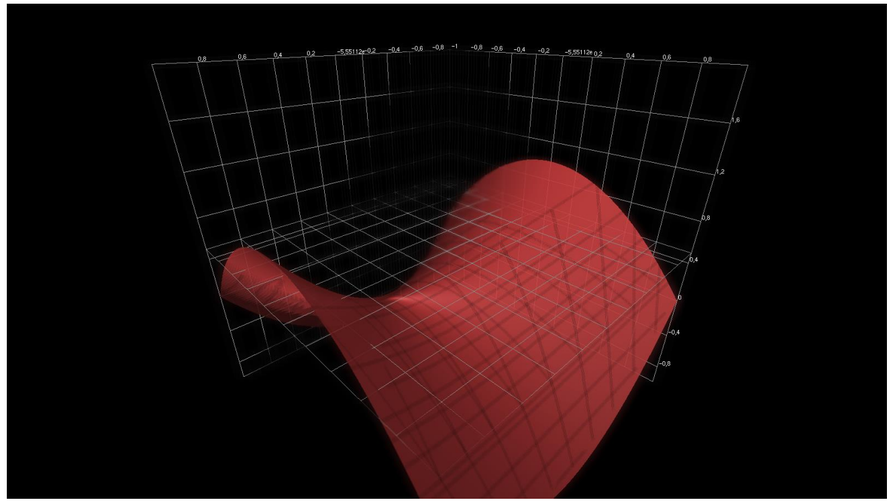
$$\delta\zeta_i = \zeta_{i\,SGB} - \zeta_{i\,MGG/RTM} = \delta\zeta_{i_0} + a_1(\lambda_i - \lambda_0) + a_2(\varphi_i - \varphi_0)\cos\lambda_i$$

Kotsakis et al (2012); Ferreira et al (2016)

$$\delta\zeta_i = \zeta_{i\,SGB} - \zeta_{i\,MGG/RTM} = \delta\zeta_{i_0} + a_1(\lambda_i - \lambda_0) + a_2(\varphi_i - \varphi_0)\cos\lambda_i + \delta sH_i^N$$

$$\begin{aligned}\delta\zeta_i = \zeta_{i\,SGB} - \zeta_{iMGG/RTM} \\ = \delta\zeta_{i_0} + a_1(\lambda_i - \lambda_0) + a_2(\varphi_i - \varphi_0)\cos\lambda_i + \delta sH_i^N + a_3(\lambda_i - \lambda_0)^2 \\ + a_4(\lambda_i - \lambda_0)(\varphi_i - \varphi_0)\cos\lambda_i + a_5[(\varphi_i - \varphi_0)\cos\lambda_i]^2\end{aligned}$$





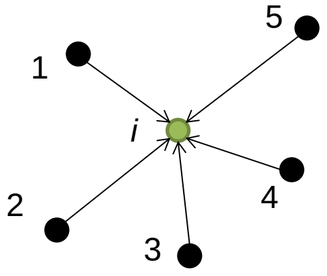
Geoestadística – Krigagem

QGIS

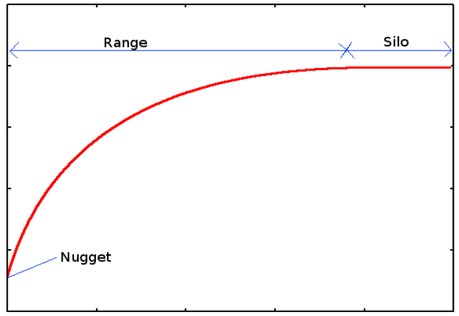
Matheron (1969)

Método de inferencia espacial, el cual nos permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra

Proporciona el mejor estimador lineal no sesgado con una varianza mínima



Depende del valor del semivariograma para la distancia



Krigagem Simples

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(d_{12}) & \gamma(d_{12}) & \gamma(d_{12}) & \gamma(d_{12}) \\ \gamma(d_{21}) & 0 & \gamma(d_{23}) & \gamma(d_{24}) & \gamma(d_{25}) \\ \gamma(d_{31}) & \gamma(d_{32}) & 0 & \gamma(d_{33}) & \gamma(d_{35}) \\ \gamma(d_{41}) & \gamma(d_{42}) & \gamma(d_{43}) & 0 & \gamma(d_{45}) \\ \gamma(d_{51}) & \gamma(d_{52}) & \gamma(d_{53}) & \gamma(d_{54}) & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(d_{i1}) \\ \gamma(d_{i2}) \\ \gamma(d_{i3}) \\ \gamma(d_{i4}) \\ \gamma(d_{i5}) \end{bmatrix}$$

- media de todos los datos (tendencia única);
- estimación de pesos solo sin normalización;
- superfície más lisa.

Krigagem Universal

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(d_{12}) & \gamma(d_{13}) & \gamma(d_{14}) & \gamma(d_{15}) & 1 & \lambda_1 & \varphi_1 \\ \gamma(d_{21}) & 0 & \gamma(d_{23}) & \gamma(d_{24}) & \gamma(d_{25}) & 1 & \lambda_2 & \varphi_2 \\ \gamma(d_{31}) & \gamma(d_{32}) & 0 & \gamma(d_{34}) & \gamma(d_{35}) & 1 & \lambda_3 & \varphi_3 \\ \gamma(d_{41}) & \gamma(d_{42}) & \gamma(d_{43}) & 0 & \gamma(d_{45}) & 1 & \lambda_4 & \varphi_4 \\ \gamma(d_{51}) & \gamma(d_{52}) & \gamma(d_{53}) & \gamma(d_{54}) & 0 & 1 & \lambda_5 & \varphi_5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & 0 & 0 & 0 \\ \varphi_1 & \varphi_2 & \varphi_3 & \varphi_4 & \varphi_5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ \lambda \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(d_{i1}) \\ \gamma(d_{i2}) \\ \gamma(d_{i3}) \\ \gamma(d_{i4}) \\ \gamma(d_{i5}) \\ 1 \\ \lambda_i \\ \varphi_i \end{bmatrix}$$

- media local en función de las coordenadas (1ª o 2ª orden) - operación de correlación espacial;
- estimación de pesos con normalización, multiplicador lagrangiano y coeficientes de variación espacial de la media.

Idea de estimación local (Delgado y Rodrigues 2022a)

D y I de outliers en lo conjunto de dados de anomalías de altura - Data Snooping (95%)

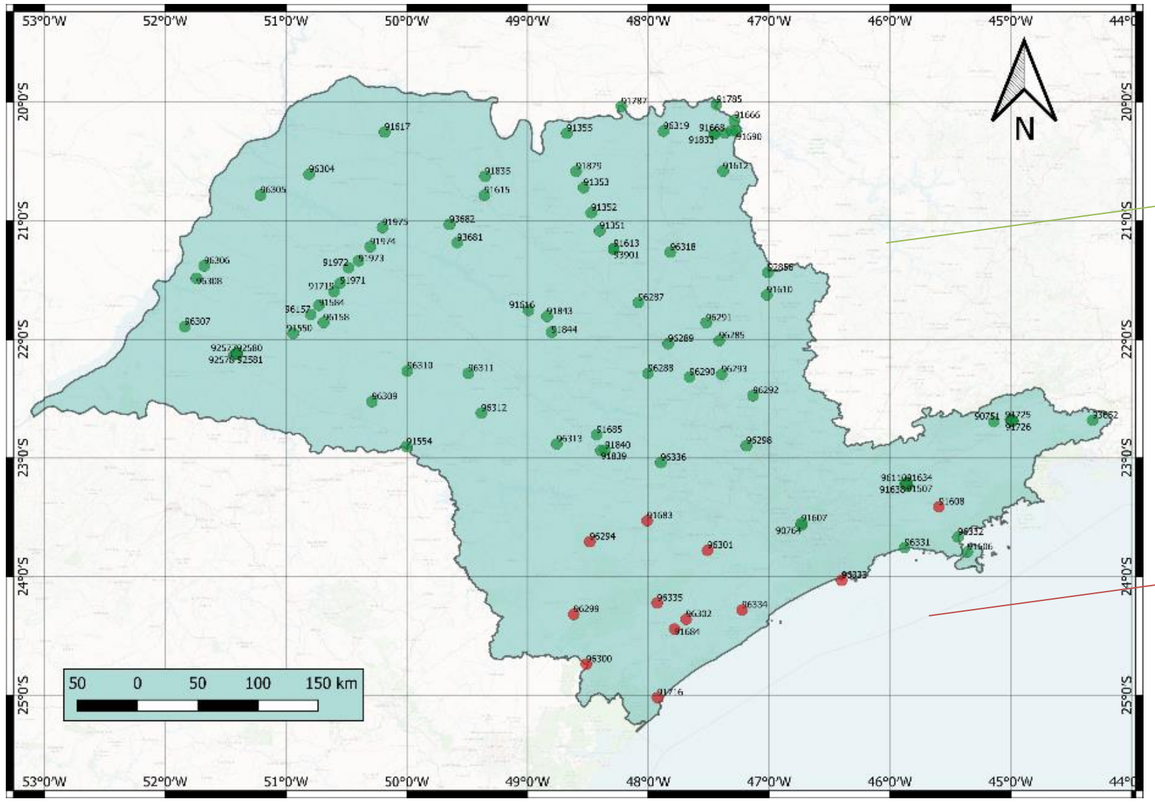
En paralelo – verificación estadística de normalidad (Shapiro-Wilk o Jarque-Bera – 95% dependiendo del tamaño de la muestra)

Análisis de correlación espacial – **clusterización**

K-means - cada punto pertenece al cluster con la media más cercana

diferentes efectos sistemáticos en las subregiones

vinculación recomendado con diferentes parámetros



90 estaciones - región más plana - subregión SP2

12 estaciones – región de costa y montaña – subregión SP1

Resultados

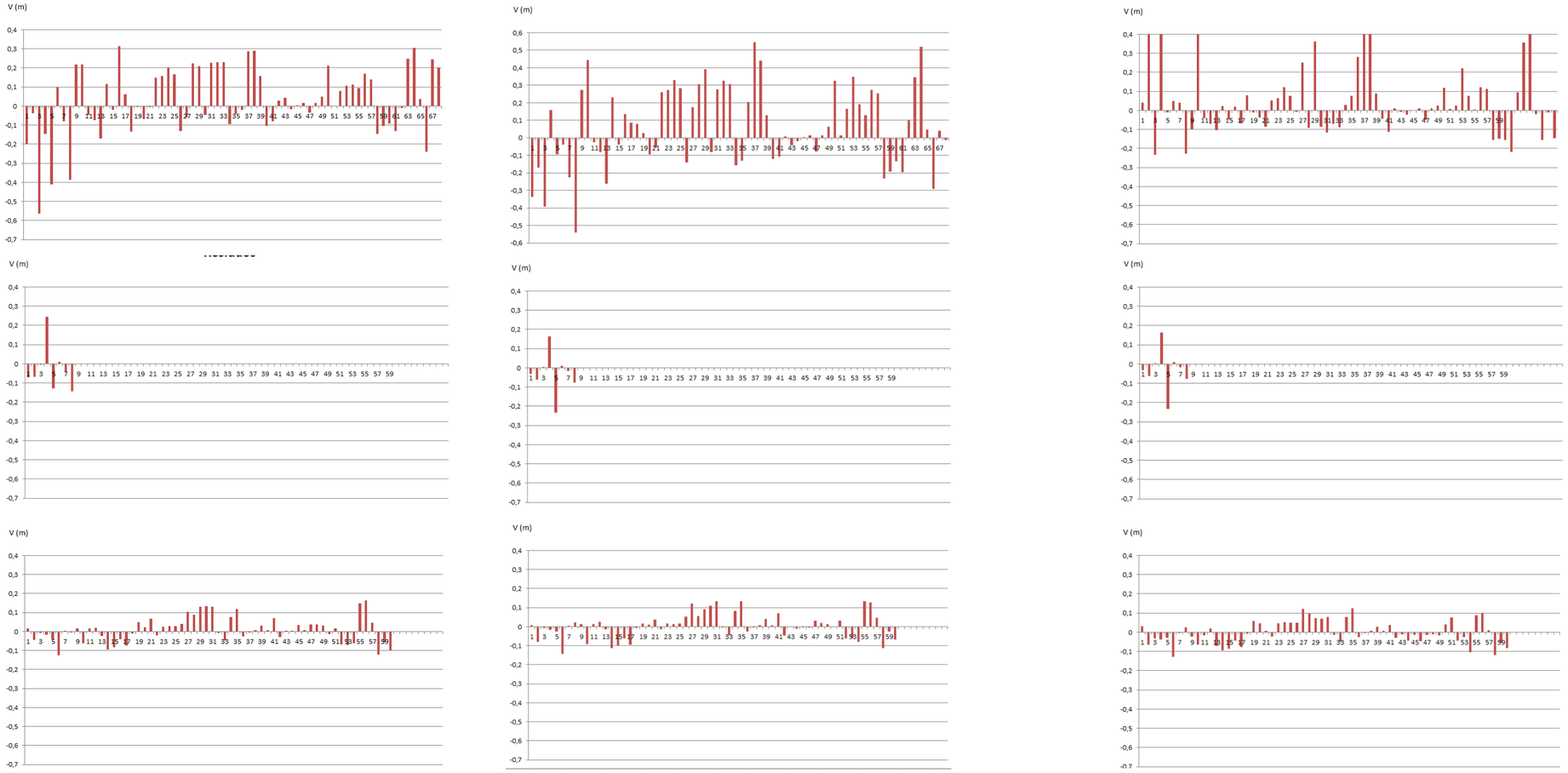
SP		
Station	$(\zeta_{GGM})\ (m)$	$(\zeta_{GGM/RTM})(m)$
90751	-3,618	-3,656
90764	-3,483	-3,509
91351	-7,456	-7,446
91352	-7,572	-7,563
91353	-7,903	-7,892
91355	-8,489	-8,484
91507	-3,735	-3,774
91550	-6,462	-6,452
91554	-5,716	-5,705
91584	-6,891	-6,877

Contribución de las anomalías RTM – la mayor parte al nivel de mm

Contribución máxima - 0,039 m en las estaciones 91634 y 91507

Por lo tanto, a partir de estos resultados podemos ver la importancia de considerar el refinamiento en el MGG XGM2019 g/o 2190

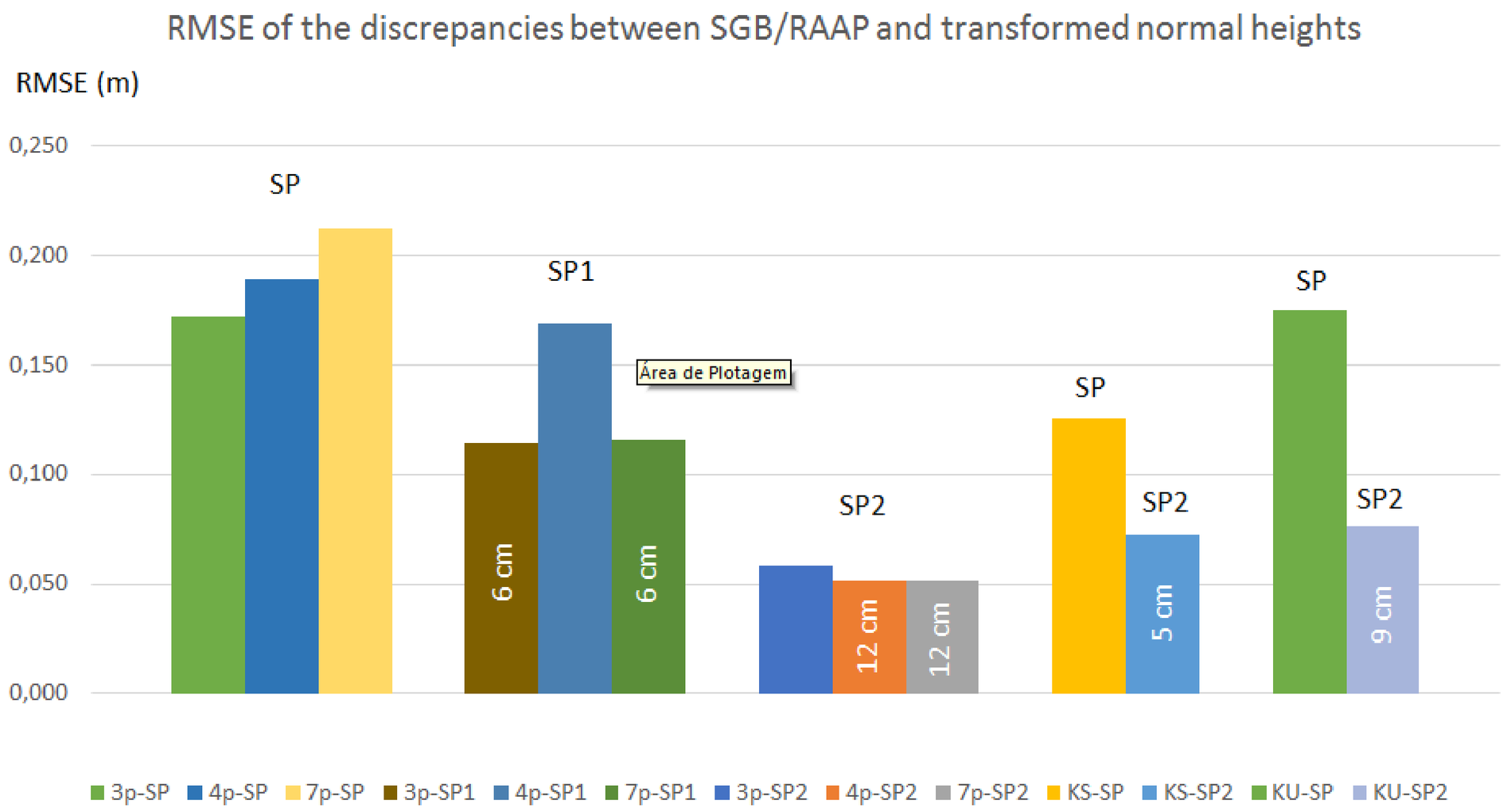
Study region or sub-region	Resultados Ajustamento		
SP	$\bar{V}$ = 0,029 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 33,306	$\bar{V}$ = 0,062 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 26,228	$\bar{V}$ = 0,044 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 13,546
SP1	$\bar{V}$ = -0,025 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 5,188	$\bar{V}$ = -0,031 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 5,200	$\bar{V}$ = -0,029 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 5,220
SP2	$\bar{V}$ = 0,008 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 1,708	$\bar{V}$ = 0,002 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 1,642	$\bar{V}$ = -0,002 m $\hat{\sigma}_0^2$ = 1,522



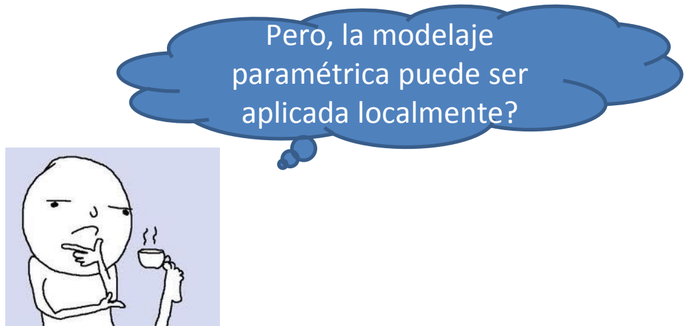
Evaluación con puntos de verificación

$$RMSE_{\Delta H^N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{t}\left(H^N_{i,trf_DVBI} - H^N_{i,DVBI}\right)^2}{t}}$$

$$H^N_{i,trf_DVBI} = h_i - \zeta_{i\,MGG/RTM} - \widehat{\delta H^N}$$



Conclusiones y trabajos futuros



Con los dados que trabajamos en la región de estudio de SP…

Sí, y esto puede proporcionar una mayor acuracidad en la vinculación

Sí, no caso de modelaje regional se mostro mejor con KS

Limitación – en subregiones con pocos puntos la modelaje local puede no ser posible…

Subregiones en las quais el MGG no es tan acurado los resultados tienden a ser peores…

Las diferencias de resultados con diferentes modelos funcionales paramétricos muestran la diferencia en componentes sistemáticas en las subregiones

Conclusiones y trabajos futuros

Krigagem manejó mejor las diferencias sistemáticas

Trabajos futuros

- analizar otros interpoladores
- ampliar la región de estudio a más estados
- analizar la detección e identificación de outliers con los vectores de residuos de los ajustamientos en los enfoques paramétricos.

Referências

Amante, C. & Eakins, B.W. 2009, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, National Oceanic and Atmospheric Administration, viewed 25 March 2021, <ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO1/docs/ETOPO1.pdf>.

Amjadiparvar, B., Rangelova, E. & Sideris, M.G. 2016, 'The GBVP approach for vertical datum unification: recent results in North America', Journal of Geodesy vol. 90, no. 1, pp. 45–63. http://doi.org/10.1007/s00190-015-0855-8.

Burša, M., Kouba, J., Raděj, K., True, S.A., Vatrt, V. & Vojtíšková, M. 1999, 'Determination of the geopotential at the tide gauge defining the North American Vertical Datum 1988 (NAVD88)', Geomatica, vol. 53, pp. 459−466. http://doi.org/10.5623/geomat-1999-0041

De Freitas, S.R.C. 2015, 'SIRGAS-WGIII activities for unifying height systems in Latin America', Revista Cartográfica. Pan-American Institute of Geography and History, vol. 91, no. 91, p. 75–92. http://link.gale.com/apps/doc/A540678848/IFME?u=googlescholar&sid=googleScholar&xid=dc41d530

Delgado, R.E. & Rodrigues, T.L. 2022a, 'Use of GNSS and a refined GGM (XGM2019e) for determining normal heights in the Imbituba Brazilian Vertical Datum and International Height Reference System', Bulletin of Geodetic Sciences, vol. 28, no. 2, p. 1-15.

Delgado, R.E. & Rodrigues, T.L. 2022b 'Linkage of Normal Heights Obtained from GNSS and Refined XGM2019 GGM to Brazilian Vertical Data Using Different Approaches', Anu[ario de Geoci"encias da UFRJ, in press.

Ferreira, V.G., De Freitas, S.R.C., Heck, B. 2016, 'Analysis of the discrepancy between the Brazilian vertical reference frame and GOCE-based geopotential models'. Rizos C, Willis P (eds) IAG 150 years, International Association of Geodesy Symposia, Springer, Berlin, pp. 227–232.

Forsberg, R. & Tscherning, C.C. 1981, 'The Use of Height Data in Gravity Field Approximation by Collocation', Journal of Geophysical Research, vol. 86, no. B9, pp. 7843-7854. http://doi.org/10.1029/JB086iB09p07843

Gerlach, C. & Rummel, R. 2012, 'Global height system unification with GOCE: a simulation study on the indirect bias term in the GBVP approach', Journal of Geodesy, vol. 87, no. 1, pp. 57–67. http://doi.org/10.1007/s00190-012-0579-y

Grombein, T., Seitz, K. & Heck, B. 2016, 'Height system unification based on the fixed GBVP approach'. Rizos C, Willis P (eds) IAG 150 years, International Association of Geodesy Symposia, Springer, Berlin, pp. 305–311.

Grombein, T., Seitz, K. & Heck, B. 2017, 'On High-Frequency Topography-Implied Gravity Signals for a Height System Unification Using GOCE-Based Global Geopotential Models', Surveys in Geophysics, vol. 38, no. 2, pp. 443-477. http://doi.org/10.1007/s10712-016-9400-4

Heck, B. & Seitz, K. 2007, 'A comparison of the tesseroid, prism and point-mass approaches for mass reductions in gravity field modelling'. Journal of Geodesy, vol 81, pp. 121–136. http://doi.org/10.1007/s00190-006-0094-0

Hirt, C., Featherstone, W.E. & Marti, U. 2010, 'Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data to improve quasi-geoid computations in mountainous areas devoid of gravity data', Journal of Geodesy, vol 84, pp. 557–567. http://doi.org/10.1007/s00190-010-0395-1.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019, Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais 2ª ed., IBGE, Coordenação de Geodésia, Diretoria de Geociências, viewed 25 march 2021. <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualização/livros/liv101666.pdf>

Ihde, J., Sánchez, L., Barzaghi, R., Drewes, H., Foerste, C., Gruber, T., Liebsch, G., Marti, U., Pail, R. & Sideris, M. 2017, 'Definition and Proposed Realization of the International Height Reference System (IHRS)', Surveys in Geophysics, vol. 3, pp. 1–22. http://doi.org/10.1007/s10712-017-9409-3

Kasenda, A. 2009, 'High precision geoid for modernization of height system in Indonesia', PhD dissertation, University of New South Wales. http://unsworks.unsw.edu.au/fapi/datastream/unsworks:8446/SOURCE02?view=true

Kotsakis, C., Katsambalos, K. & Ampatzidis, D. 2012, 'Estimation of the zero-height geopotential level W0 LVD in a local vertical datum from inversion of co-located GPS, leveling and geoid heights: a case study in the Hellenic islands', Journal of Geodesy, vol. 86, no. 6, pp.423–439. http://doi.org/10.1007/s00190-011-0530-7

Nagy D, Papp G, Benedek J (2000) The gravitational potential and its derivatives for the prism. J Geod 74(7–8):552–560.

Rapp, R.H. 1989, 'The treatment of permanent tidal effects in the analysis of satellite altimeter data for sea surface topography'. Manuscripta Geodaetica, vol. 14, pp. 368–372. http://ntrs.nasa.gov/api/citations/19910021305/downloads/19910021305.pdf

Rülke, A., Liebsch, G., Sacher, M., Schaëfer, U., Schirmer, U. & Ihde, J. 2012, 'Unification of European height system realizations', Journal of Geodetic Science, vol. 2, no. 4, pp.343–354. https://doi.org/10.2478/v10156-011-0048-1

Rummel, R. & Teunissen, P. 1988, 'Height datum definition, height datum connection and the role of the geodetic boundary value problem', Journal of Geodesy, vol. 62, pp. 477–498. https://doi.org/10.1007/BF02520239

Sánchez, L. & Sideris, M.G. 2017, 'Vertical datum unification for the International Height Reference System (IHRS)', Geophysical Journal International, vol. 209, no. 2, pp. 570–586. https://doi.org/10.1093/gji/ggx025

Sánchez, J. L. C.; De Freitas, S. R. C. & Barzaghi, R. 2018, 'Offset Evaluation of the Ecuadorian Vertical Datum Related to the IHRS', Bulletin of Geodetic Sciences, vol. 24, no. 4, pp. 503–524. http://doi.org/ 10.1590/s1982-21702018000400031

Souza, L.M. Análise das variações da Topografia do Nível "Médio" do Mar (TNMM) utilizando o CryoSat-2 (CS2) e observações maregráficas, Mestrado (Dissertação), Universidade Federal de Viçosa, Program de p[os-gradua;'ao em Engenharia Civil, Viçosa, 2021.

Tozer, B., Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., Olson, C., Beale, J.R., & Wessel, P. 2019, 'Global Bathymetry and Topography at 15 Arc Sec: SRTM15+', Earth and Space Science, vol. 6, no. 10, pp. 1847–1864. https://doi.org/10.1029/2019EA000658

Xu, P. 1992, 'A quality investigation of global vertical datum connection', Geophysical Journal International, vol. 110, no. 2, pp. 361–370. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1992.tb00880.x

Zhang, P., Bao, L., Guo, D., Wu, L., Li, Q., Liu, H., Xue, Z. & Li, Z. 2020, 'Estimation of Vertical Datum Parameters Using the GBVP Approach Based on the Combined Global Geopotential Models', Remote Sensing, vol. 12, no. 24, pp. 1–23. https://doi.org/10.3390/rs12244137

Zingerle, P., Pail, R. & Gruber, T. 2020, 'The combined global gravity field model XGM2019e', Journal of Geodesy, vol. 94, no. 66, pp. 1–12. https://doi.org/10.1007/s00190-020-01398-0

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS GEODÉSICAS

EXÉRCITO
BRASILEIRO

SIRGAS
sirgas.ipgh.org

Muchas Gracias!