

XIII Colóquio Brasileiro
de Ciências
Geodésicas • 2024

Universidade Federal do Paraná

25 Anos

*Conectando mentes e
provendo conhecimento*

ESTIMATIVA DO DESLOCAMENTO VERTICAL DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS DA RMPG

Lucas G. L. P. Calado^{1,2}, João F. G. Monico², Haroldo A. Marques², Gabriela O. N. Brassarote²

¹ Departamento de Engenharia Cartográfica – UFPE

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – FCT/UNESP

Rede Maregráfica Permanente para a Geodésia (RMPG)

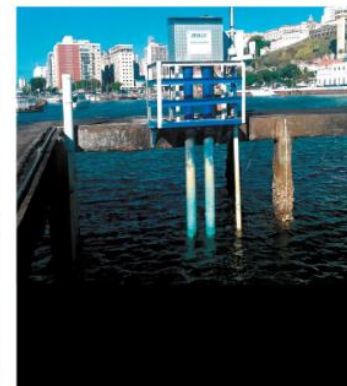
Imbituba - SC



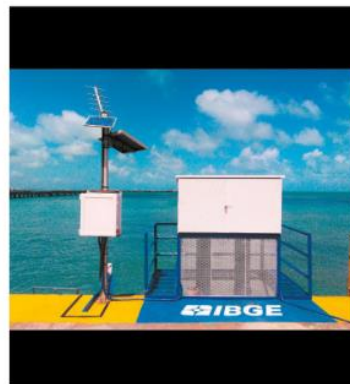
Arraial do Cabo - RJ



Salvador - BA



Fortaleza - CE



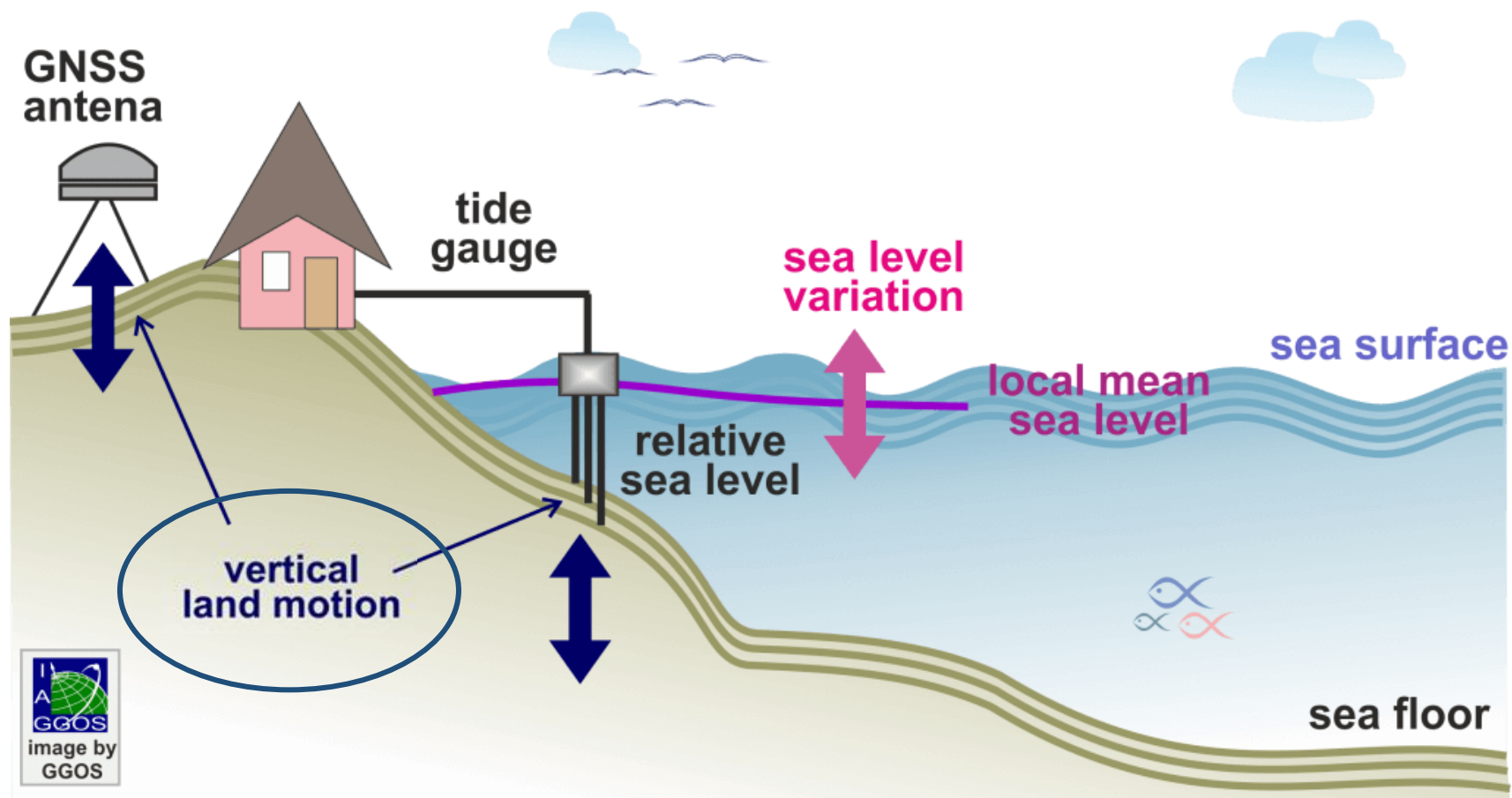
Belém - PA



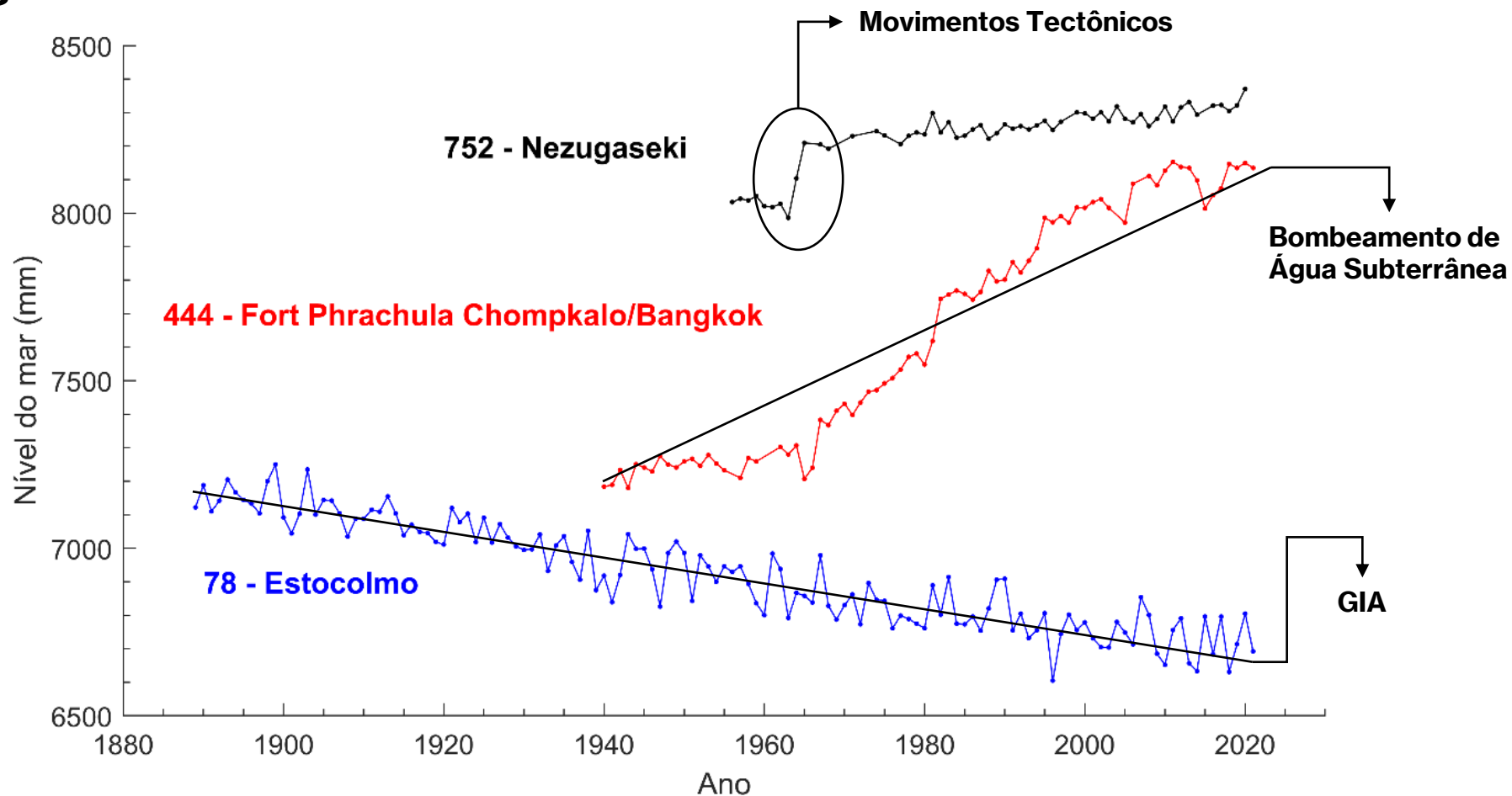
Santana - AP



Introdução

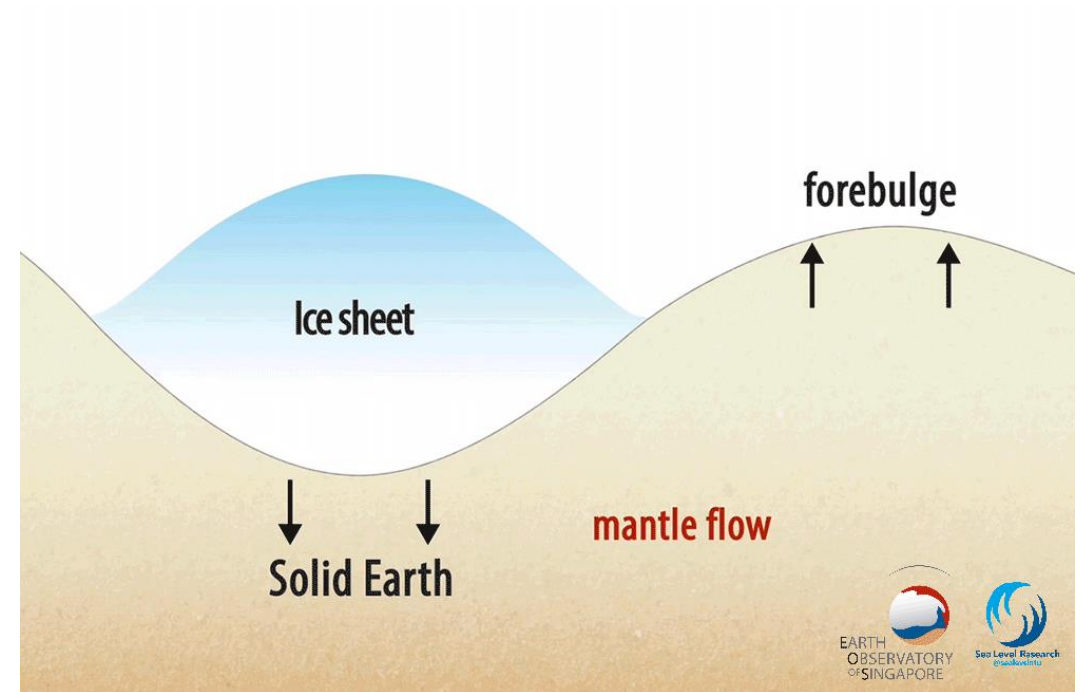
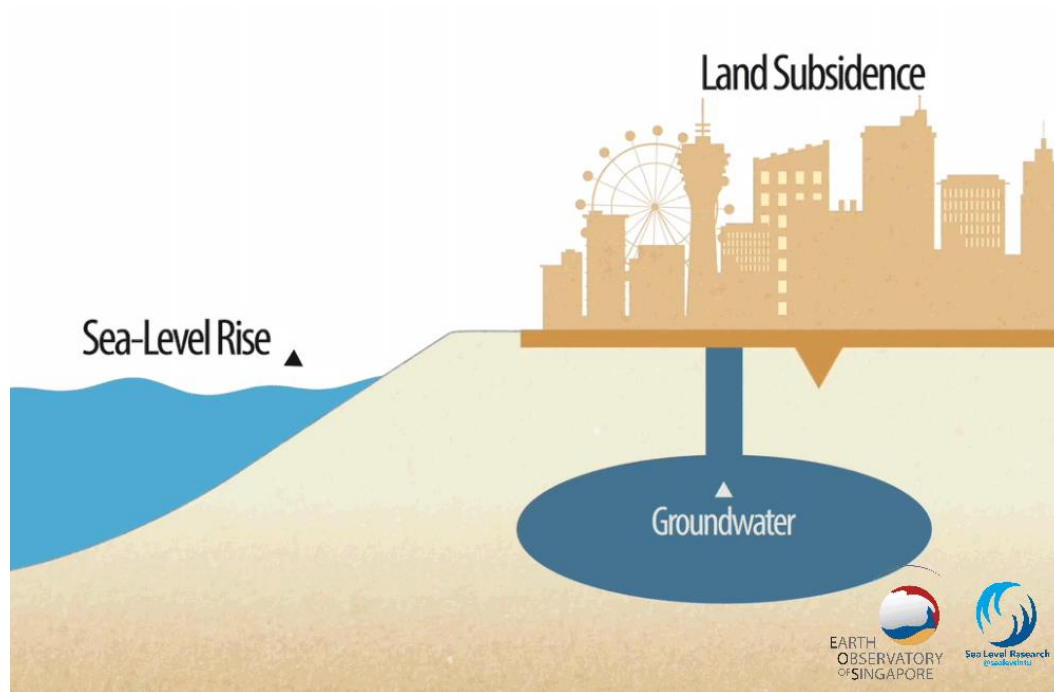


Introdução



Fonte: Adaptada de Pugh e Woodworth (2014) com dados do PSMSL (2022).

Introdução



Como determinar o VLM?

- 1** GNSS
- 2** Altimetria por Satélite
- 3** InSAR

Como determinar o VLM?

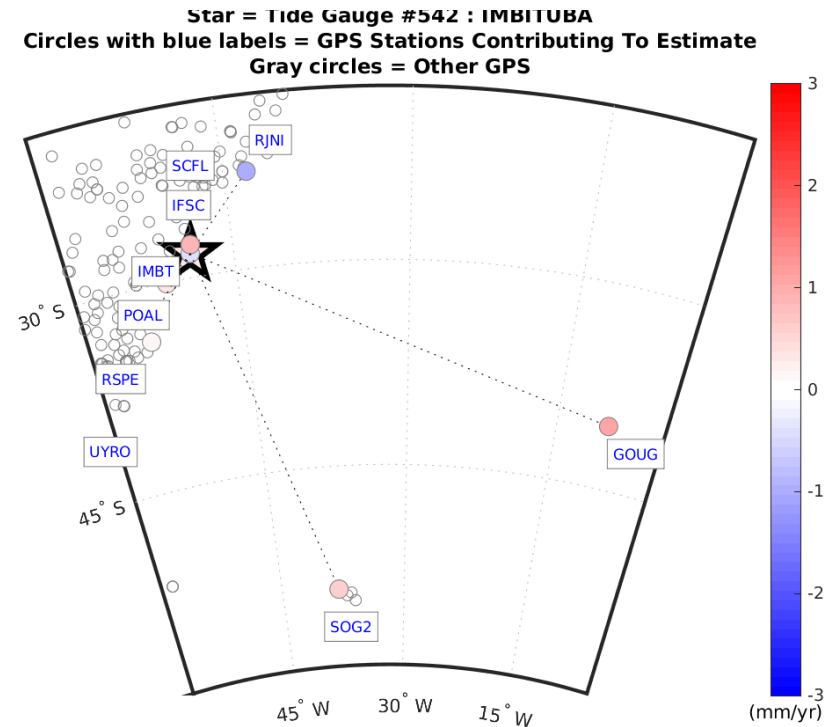
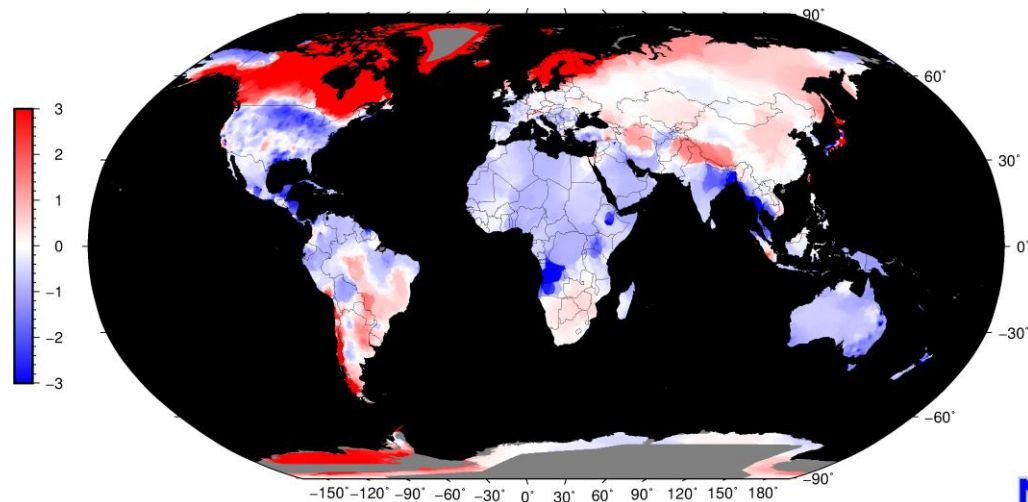
JGR Solid Earth

Research Article |  Open Access |  

GPS Imaging of Global Vertical Land Motion for Studies of Sea Level Rise

William C. Hammond  Geoffrey Blewitt, Corné Kreemer, R. Steven Nerem

First published: 03 July 2021 | <https://doi.org/10.1029/2021JB022355> | Citations: 33



Fonte: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021JB022355>

Objetivo

Estimar o **VLM** diretamente
nas estações da **RMPG**.

Materiais e Métodos

■ 141 estações GNSS

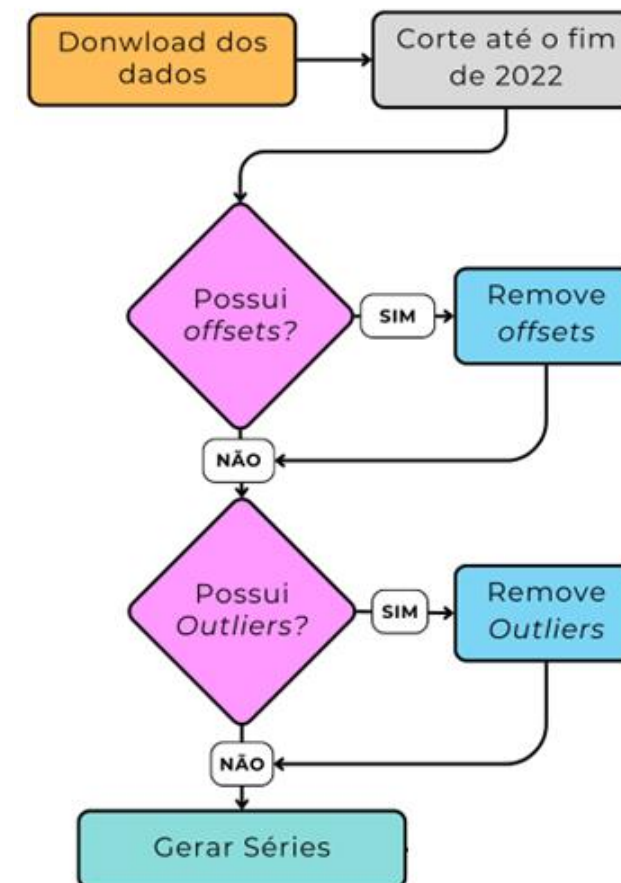
- Dados diários do NGL (Blewitt *et al.*, 2018).
- Processados no GipsyX 1.0.
- PPP, com órbitas e relógio e outros produtos do JPL.
- IGS14.

■ Modelo Funcional

- Tendência linear.
- Periodicidades anuais e semianuais.

■ Modelo Estocástico

- White Noise + Power-Law Noise.
- κ estimado por MLE (Bos *et al.*, 2020).
- σ estimado pelo LS-VCE (Teunissen e Amiri-Simkooei, 2008).

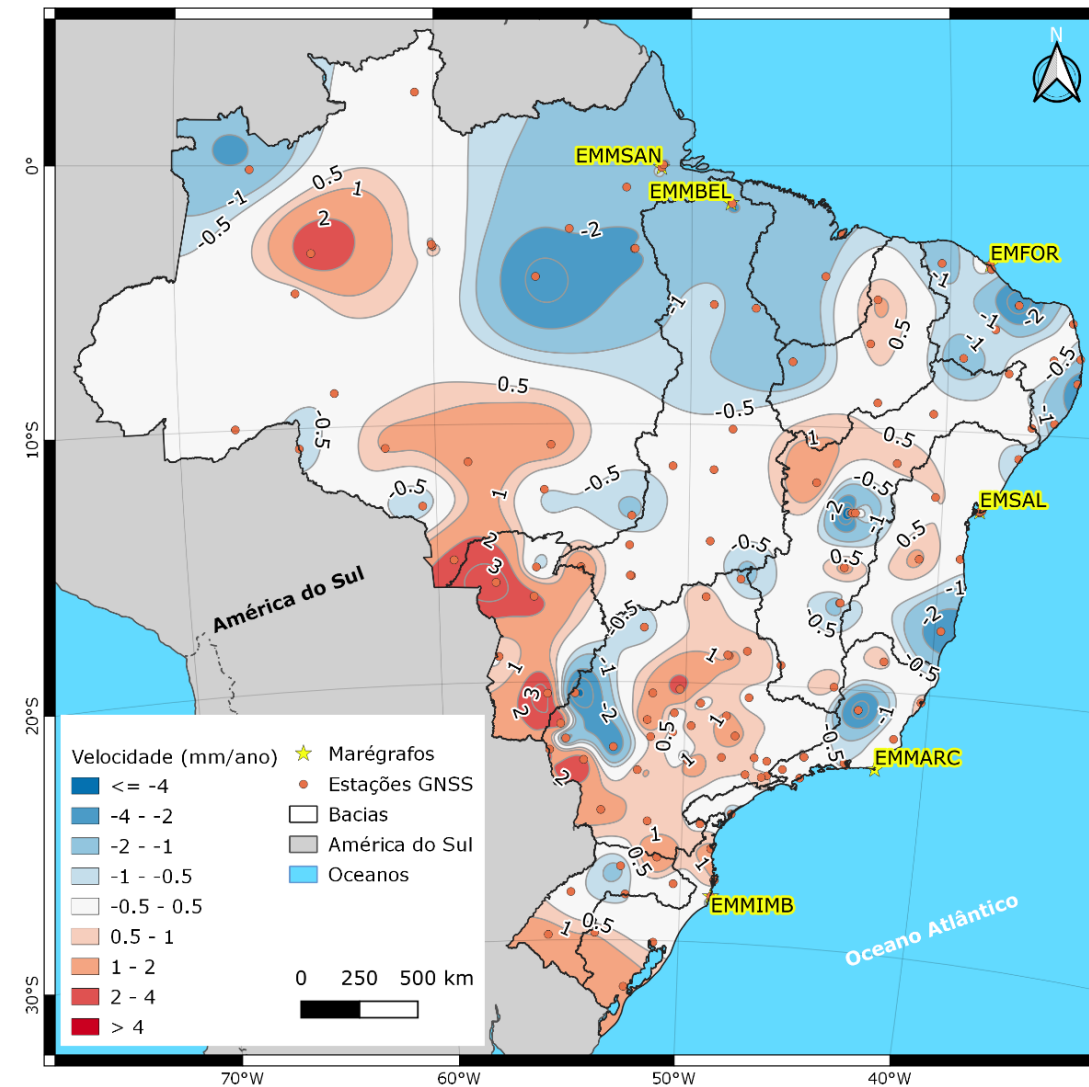


Materiais e Métodos

- As velocidades obtidas para cerca de 30 estações foram comparadas com as disponibilizadas pelo **SONEL** (<https://www.sonel.org/-Vertical-land-movements-.html?lang=en>).
- O **método de interpolação** utilizado foi proposto por Lee et al. (1997), o qual baseia-se em uma aproximação multinível de B-Splines (*Multilevel B-Splines Approximation - MBA*) e está implementado na biblioteca SAGA, do *software* QGIS.
- O **MBA** é adequado para interpolar pontos esparsos, com resultados comparáveis aos métodos de *Krigagem* e melhor que o TIN, IDW e *Topo to Raster* (Farolfi et al., 2019; Paramasivam e Venkatramanan, 2019; Santos et al., 2022).

Resultados

- As **velocidades estimadas** obtiveram **boa consistência** com as disponibilizadas pelo SONEL (cerca de 78% das estações analisadas com uma diferença menor que 1 mm/ano).
- A partir das velocidades estimadas, obteve-se o **modelo digital de velocidades para o território brasileiro**, utilizando o interpolador MBA, disponível no *software* QGis.



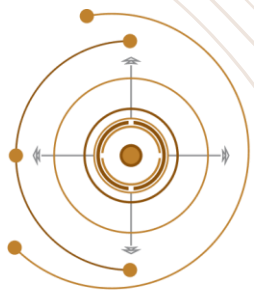
Resultados

Estação Maregráfica	Estação GNSS	Distância (m)	VLM Estação GNSS (mm/ano)	VLM Interpolado (mm/ano)
Arraial do Cabo (RJ)	RJCG	150.000	$0,33 \pm 0,09$	$-0,13 \pm 0,10$
Belém (PA)	BELE	5.280	$-1,12 \pm 0,11$	$-1,70 \pm 0,17$
Fortaleza (CE)	CEFT	605	$-0,16 \pm 0,07$	$-0,17 \pm 0,07$
Imbituba (SC)	IMBT	657	$-0,44 \pm 0,11$	$-0,43 \pm 0,11$
Salvador (BA)	SSA1	157	$0,06 \pm 0,07$	$0,02 \pm 0,09$
Santana (AP)	APS1	240	$-1,99 \pm 0,32$	$-0,67 \pm 0,37$

- **Arraial do Cabo (RJ):** diferença significativa entre as duas estimativas.
- **Belém (PA):** tendência de subsidência mais significativa para o VLM interpolado.
- **Fortaleza (CE), Imbituba (SC) e Salvador (BA):** estimativas muito próximas nos dois casos, indicando que o VLM observado na estação GNSS é equivalente ao VLM obtido por interpolação.
- **Santana (AP):** apresentou uma tendência de rebaixamento para ambos os casos, sendo um pouco menor para o VLM interpolado.

Considerações Finais

- Estes resultados indicam variações nas tendências de VLM ao longo do litoral brasileiro, com **uma predominância de subsidência da zona costeira**.
- A presença de **várias estações GNSS próximas** às estações maregráficas influenciam as estimativas do VLM a partir da interpolação.
- Verificar outros **métodos de interpolação**, como Colocação por Mínimos Quadrados e *Krigagem*.
- Utilizar **dados InSAR** para estimar o VLM.
- Utilizar outros *softwares* para estimar as velocidades, como o **Hector** e o **SARI**.
- Estimar a uma **distância máxima possível** para determinar o VLM.



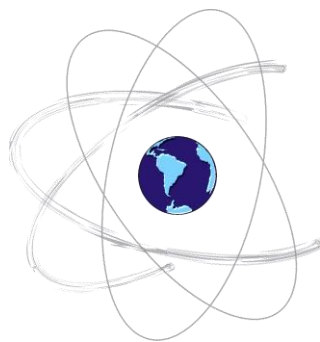
XIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas • 2024

Universidade Federal do Paraná

25 Anos

*Conectando mentes e
provendo conhecimento*

AGRADECIMENTOS



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Campus Presidente Prudente



REALIZAÇÃO



Curitiba, 26 a 29 de novembro de 2024

Referências

- PUGH, D.; WOODWORTH, P. Sea-level science: understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. [S.I.]: Cambridge University Press, 2014.
- PSMSL, P. S. f. M. S. L. Tide Gauge Data. 2022. Disponível em: <<http://www.psmsl.org/data/obtaining/>>.
- BOS, M. S.; MONTILLET, J.-P.; WILLIAMS, S. D.; FERNANDES, R. M. Introduction to geodetic time series analysis. Geodetic time series analysis in earth sciences, Springer, p. 29–52, 2020.
- TEUNISSEN, P. J.; AMIRI-SIMKOOEI, A. Least-squares variance component estimation. Journal of geodesy, Springer, v. 82, p. 65–82, 2008.
- BLEWITT, G.; HAMMOND, W.; KREEMER, C. Harnessing the gps data explosion for interdisciplinary science. Eos, American Geophysical Union (AGU), v. 99, 2018.
- LEE, S.; WOLBERG, G.; SHIN, S. Y. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. IEEE transactions on visualization and computer graphics, IEEE, v. 3, n. 3, p. 228–244, 1997.
- FAROLFI, G.; BIANCHINI, S.; CASAGLI, N. Integration of gnss and satellite insar data: Derivation of fine-scale vertical surface motion maps of po plain, northern apennines, and southern alps, italy. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 57, n. 1, p. 319–328, jan. 2019. ISSN 1558-0644. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2018.2854371>.
- PARAMASIVAM, C.; VENKATRAMANAN, S. An introduction to various spatial analysis techniques. In: . GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science. Elsevier, 2019. p. 23–30. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00003-1>.
- SANTOS, F. A.; SOUZA, M. C. d.; ZUQUETTE, L. V.; ANGULO, R. J.; ROSA, M. L. C. d. C.; TALAMINI, A. A.; FIGUEIREDO, C. A. Inventory of natural processes with nautical charts, real-time kinematic global navigation satellite systems (rtk-gnss), and unmanned aerial vehicle (uav), trindade island, brazil. Brazilian Journal of Geology, FapUNIFESP (SciELO), v. 52, n. 4, 2022. ISSN 2317-4889. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889202220220007>.
- CALADO, L. G. L. P. Estimativa do deslocamento vertical de estações maregráficas a partir da modelagem de séries temporais de Coordenadas GNSS. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente – SP, 2024.