



Comparação Absoluta entre Observações do Satélite Sentinel-3A e dos Marégrafos da RMPG em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana

Absolute Comparison between Sentinel-3A Satellite and Tide Gauges Observations of RMPG in Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza and Santana

Samoel Giehl¹, Regiane Dalazoana² e Tulio Alves Santana³

¹Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. samoelgiehl@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4971-4253>

²Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. regiane@ufpr.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5468-0679>

³Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá e Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. tulio.santana@ifmt.edu.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-9409>

Recebido: 10.2022 | Aceito: 11.2022

Resumo: As regiões costeiras são de grande interesse para estudos geodésicos e geofísicos, uma vez que nelas reside uma parcela significativa da população. O aperfeiçoamento da altimetria por satélite ao longo dos anos tem possibilitado melhores observações nestas regiões, principalmente, a partir da tecnologia de Radar de Abertura Sintética (SAR). O presente estudo visa analisar, absolutamente, os dados maregráficos (SSH_{TG}) da RMPG em Imbituba-SC, Arraial do Cabo-RJ, Salvador-BA, Fortaleza-CE e Santana-AP e de observações altimétricas (SSH_{SA}) provenientes do satélite Sentinel-3A dispostas em células num raio de até 100 km sobre o oceano a partir da localização das estações maregráficas, para o período entre novembro de 2017 e abril de 2020. Em cada estação maregráfica foi escolhida a célula altimétrica mais próxima e que obteve a melhor correlação com os dados maregráficos, e na sequência esta célula foi extrapolada até costa (SSH_{SA-TG}) com o uso de um Modelo Global do Geopotencial (MGG) e de um *Mean Dynamic Topography* (MDT). Os resultados indicaram correlações iguais e acima de 0,90 em todos os marégrafos e destaca-se as pequenas distâncias entre as células de altimetria escolhidas e os marégrafos em Arraial do Cabo, Salvador e Fortaleza, apresentando os valores de 5,37 km, 4,51 km e 4,62 km, respectivamente. As médias de SSH_{TG} e SSH_{SA-TG} não apresentaram diferenças significativas em todos os marégrafos analisados, pois se encontraram dentro do intervalo do desvio-padrão. A principal contribuição deste trabalho foi verificar a qualidade da altimetria SAR na costa brasileira.

Palavras Chave: Marégrafo. Altimetria por satélite. MGG. MDT.

Abstract: Coastal regions are of great interest for geodetic and geophysical studies, since in them resides a significant portion of the population. The improvement of satellite altimetry over the years has enabled better observations in these regions, mainly using Synthetic Aperture Radar (SAR) technology. The present study aims to analyze, absolutely, the tide gauges data (SSH_{TG}) of the RMPG in Imbituba-SC, Arraial do Cabo-RJ, Salvador-BA, Fortaleza-CE and Santana-AP and of altimetric observations (SSH_{SA}) from the Sentinel-3A satellite arranged in cells within a radius of up to 100 km over the ocean from the location of the tide gauges stations, for the period between November 2017 and April 2020. In each tide gauge station was chosen the closest altimetry cell and that obtained the best correlation with the tide gauge data, and then this cell was extrapolated to the coast (SSH_{SA-TG}) using a Global Geopotential Model (GGM) and a Mean Dynamic Topography (MDT). The results indicated correlations equal and above 0.90 in all tide gauges and highlights the small distances between the altimetry cells and the tide gauges in Arraial do Cabo, Salvador and Fortaleza, presenting values of 5.37 km, 4.51 km and 4.62 km, respectively. The averages of SSH_{TG} and SSH_{SA-TG} did not show significant differences in all analyzed tide gauges, as they were within the standard deviation range. The main contribution of this work was to verify the quality of SAR altimetry in the Brazilian coast.

Keywords: Tide Gauge. Satellite Altimetry. GGM. MDT.

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento do nível do mar tornou-se uma prática relevante dentro da Geodésia, a qual configura-se como uma ciência que permite a medição e análise dos fenômenos e efeitos relacionados aos processos físicos da Terra e, desta forma, contribui de forma significativa para os estudos relacionados a uma série de processos geodinâmicos e às mudanças climáticas globais (DREWES, 2006).

Segundo Arias et al. (2021), o nível médio global do mar aumentou 0,20 m entre 1901 e 2018 sendo que a tendência média do aumento do nível do mar foi de 1,3 mm/ano entre 1901 e 1971, aumentando para 1,9 mm/ano entre 1971 e 2006, e aumentando ainda mais para 3,7 mm/ano entre 2006 e 2018. Esses valores indicam uma aceleração do aumento do nível do mar global com o decorrer dos anos e que deverá continuar ao longo do século XXI. Os mesmos autores indicam que entre as principais causas desse aumento, destaca-se o aquecimento climático que provoca a perda de gelo do continente e a expansão térmica dos oceanos.

A previsão da população global que vive em regiões cujas altitude chegam a até 5 metros acima do nível do mar foi de 290 milhões em 1900, 380 milhões em 2010, 460 milhões em 2030 e 495 milhões em 2050 (KUMMU et al., 2016). O Brasil ainda carece de estimativas da população residente em regiões litorâneas expostas ao aumento do nível do mar, no entanto o relatório especial do painel brasileiro de mudanças climáticas sobre impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas aponta que mais de 60% da população brasileira vive em cidades costeiras (PBMC, 2016).

Além de dados maregráficos, o monitoramento do nível do mar pode ser realizado por meio de dados de altimetria por satélite, que foi aperfeiçoada ao longo dos anos possibilitando melhores observações em regiões costeiras, principalmente a partir da tecnologia de radar de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar - SAR*). O princípio básico de funcionamento dos satélites denominados, na literatura, de altimetria convencional ou (*Low Resolution Mode - LRM*), como as missões Jason 1, 2 e 3, consiste na transmissão de um pulso de radiação eletromagnética (micro-ondas), em direção nadiral até a superfície do mar. Este pulso interage com a superfície do mar e é refletido de volta ao receptor do altímetro. O tempo de percurso entre a transmissão e a recepção do sinal multiplicado pela velocidade de propagação da luz no vácuo, possibilita determinar a distância entre o satélite e a superfície do mar (SEEBER, 2003; CHELTON et al., 2001). No entanto, estes satélites perdem resolução nas proximidades da costa em função da rugosidade do estado da superfície do mar decorrente de perturbações causadas pela pequena profundidade e à interferência do terreno no sinal de retorno (DALAZOANA, 2006).

Uma melhoria significativa na qualidade das observações altimétricas em regiões costeiras oceânicas se deu a partir dos satélites que operam no modo SAR também chamado de *delay/Doppler altimeter (DDA)* onde a área de pegada é menor o que possibilita um incremento no número observações e, conseqüentemente, fornece estimativas dos parâmetros geofísicos mais aprimorados em relação a altimetria convencional (RANEY, 1998). As missões CryoSat-2, Sentinel-3A e Sentinel-3B foram as primeiras a explorar o modo SAR (ESCUDIER et al., 2017).

De acordo com Liebsch et al. (2002), os problemas na comparação entre dados maregráficos e de altimetria por satélite é que ambos não se referem ao mesmo sistema de referência vertical e não estão sobrepostos, ou seja, são observados em locais diferentes, necessitando, portanto, a aplicação de um método de extrapolação.

Assim a comparação de dados maregráficos e de altimetria por satélite pode ser realizada de forma relativa ou absoluta. Na forma relativa a análise visa verificar se ambos os dados estão observando o mesmo sinal oceânico e, portanto, os dados não necessitam ser convertidos a um referencial vertical em comum (GIEHL, 2020; MONTECINO et al., 2017). Esta forma permite comparar dados provindos dos satélites e de estações maregráficas que não dispõem, em sua proximidade, de uma estação de monitoramento contínuo do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). De outro modo, na forma absoluta, ambos os dados são referenciados ao geocentro da Terra (LIEBSCH et al., 2002; ACUÑA; BOSCH, 2003; DALAZOANA, 2006; DA SILVA; DE FREITAS, 2014). A forma absoluta permite, por exemplo, analisar a estabilidade dos satélites altimétricos por meio de dados maregráficos (MITCHUM, 1998). Para tanto, é fundamental as estações maregráficas possuírem, em suas proximidades estações de monitoramento contínuo GNSS para referenciar os dados maregráficos de maneira absoluta. No Brasil foram instaladas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos

Sistemas GNSS (RBMC) nas proximidades de cada marégrafo da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG).

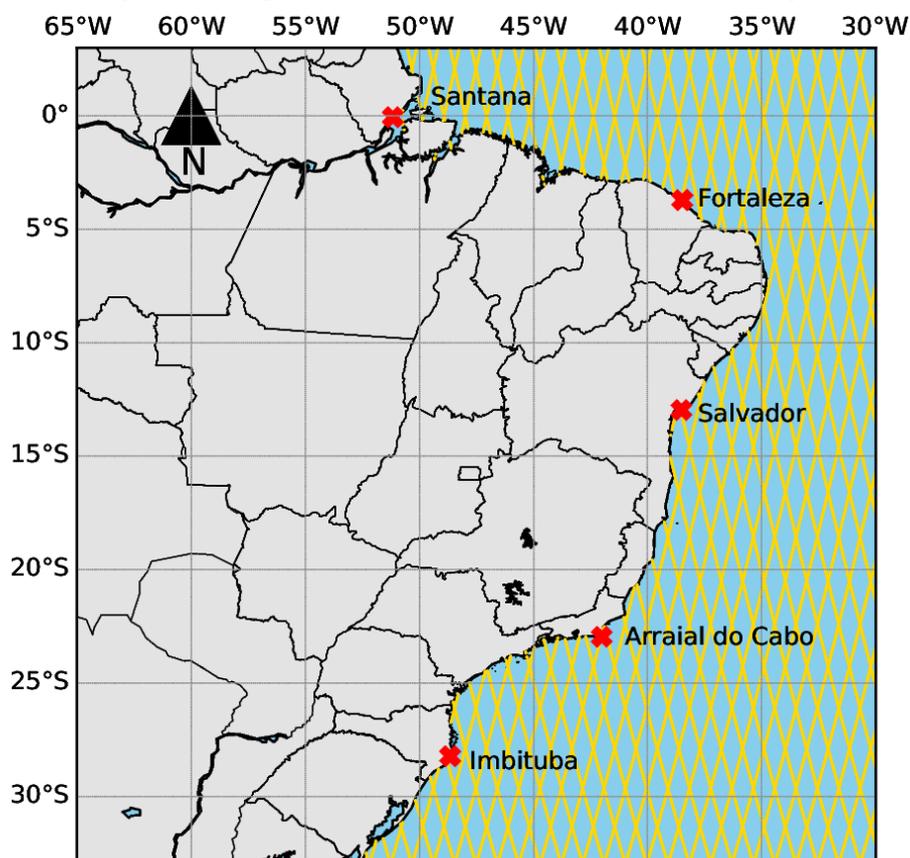
Estudos relacionados à integração de dados mareográficos e de altimetria no país se concentram em Imbituba-SC e se baseiam na altimetria convencional, como as missões Topex/Poseidon, Jason 1, 2 e 3 (DALAZOANA, 2006; DA SILVA, 2017; GIEHL, 2020). Deste modo, o objetivo do presente estudo é realizar uma análise absoluta entre os dados observados pelo satélite Sentinel-3A (SSH_{SA}) e pelos marégrafos da RMPG em Imbituba (Santa Catarina), Arraial do Cabo (Rio de Janeiro), Salvador (Bahia), Fortaleza (Ceará) e Santana (Amapá) (SSH_{TG}). Os dados de altimetria por satélite foram divididos em células e extrapolados até a localização das estações mareográficas (SSH_{SA-TG}) a partir do Modelo Global do Geopotencial (MGG) XGM2019e_2159 e do modelo global de topografia do nível médio do mar (*Mean Dynamic Topography* - MDT) denominado CNES-CLS18. A célula mais próxima e que apresentou a melhor correlação em um raio de 100 km sobre o oceano, a partir da localização de cada marégrafo, foi empregada para a análise da comparação absoluta entre SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} .

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

No presente trabalho foram empregados os dados mareográficos das estações da RMPG. A localização dos marégrafos e das trilhas do satélite Sentinel-3A ao longo da costa brasileira (na cor amarela) são apresentadas na Figura 1. Nota-se observações de SSH_{SA} bem próximas da costa brasileira e também dentro do Rio Amazonas e de algumas baías. Os valores de SSH_{SA} foram obtidos a partir de células confeccionadas ao longo das trilhas do satélite Sentinel-3A em um raio de 100 km sobre o oceano a partir da localização de cada marégrafo.

Figura 1 – Localização dos marégrafos e das trilhas do satélite Sentinel-3A ao longo da costa brasileira.



Elaboração: Os Autores (2022).

2.2 Dados Maregráficos

Os dados maregráficos empregados no trabalho foram obtidos da RMPG, compreendendo o período entre novembro de 2017 e abril de 2020. Este período de tempo foi delimitado de acordo com o intervalo dos dados do satélite Sentinel-3A, disponibilizados pelo *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut Technische Universität München* (DGFI). O marégrafo de Belém não foi empregado em função do número de dados faltantes para o período analisado. As séries temporais são amostradas em intervalos de tempo horários e estão referenciadas a um referencial local (estabelecido pelo IBGE). Desse modo, realizou-se a vinculação destes dados ao Sistema Geodésico Brasileiro (elipsoide GRS80/SIRGAS2000) conforme apresentado nas Eq. (1) e (2) (IBGE, 2021).

$$SSH_{TG} = NM_{TG} - S \quad (1)$$

$$S = A + B + C + J - T \quad (2)$$

onde SSH_{TG} é a altitude observada do nível do mar em relação ao elipsoide de referências (Figura 2), NM_{TG} é a altura observada do nível do mar em relação ao “zero” do sensor, A é o desnível entre os “zeros” dos marégrafos e da régua, resultante da aferição dos sensores (Teste de Van de Castele), B é a leitura nominal do pino/topo da régua, C é o desnível entre o pino/topo da régua e a referência de nível primária (obtido com o nivelamento geométrico da régua), T é a altitude elipsoidal da Referência de Nível (RN) vizinha e J consiste no acompanhamento da estabilidade das Referências de Nível (RRNN) da estação via nivelamento geométrico. A Tabela 1 apresenta os níveis de referência nas estações da RMPG em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana no sistema de maré média.

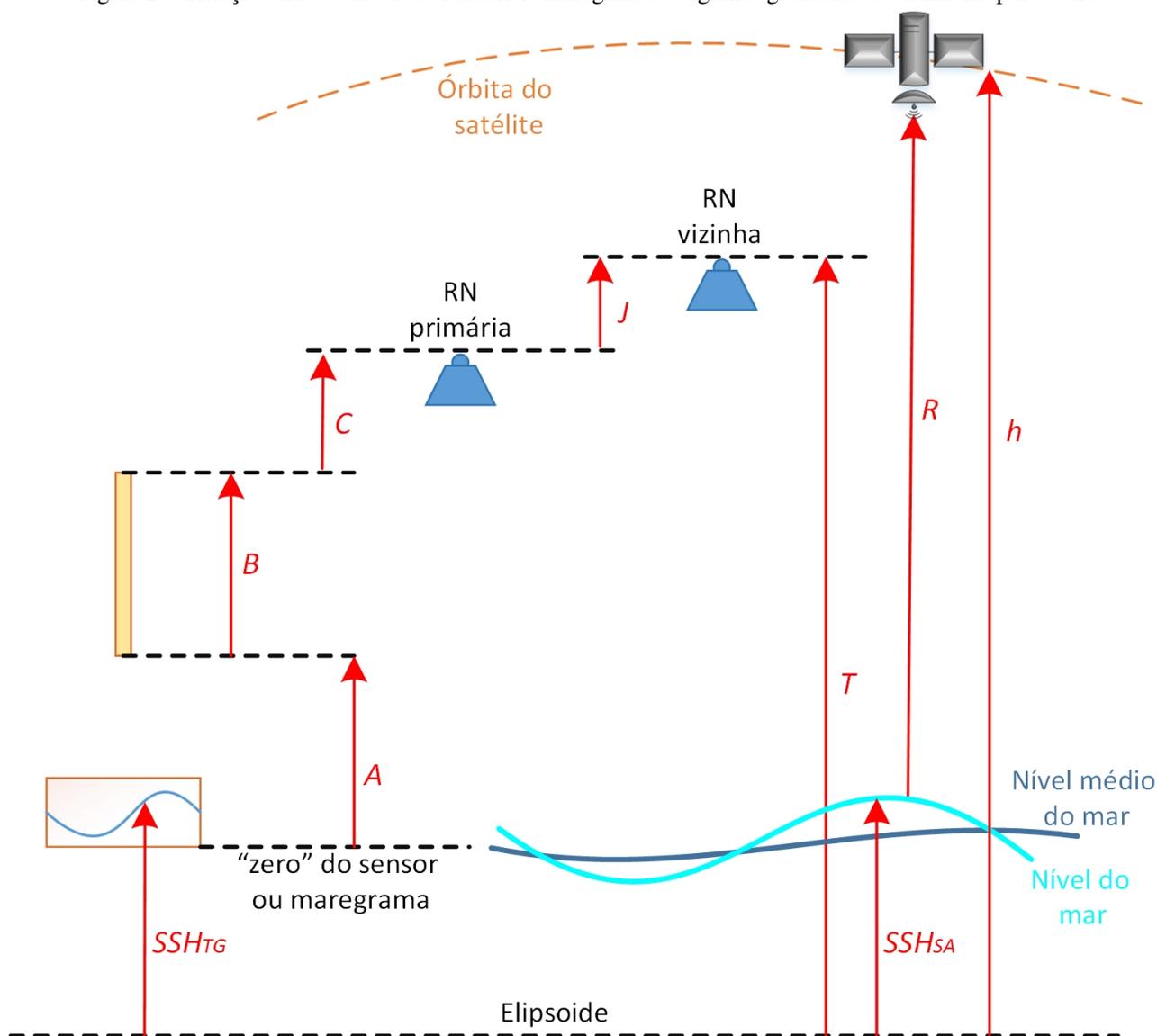
Tabela 1 – Níveis de Referência nas estações da RMPG em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana.

Grandeza	Imbituba	Arraial do Cabo	Salvador	Fortaleza	Santana
A (m)	$0,983 \pm 0,023$	$-0,002 \pm 0,035$	$5,043 \pm 0,066$	$3,257 \pm 0,036$	$0,051 \pm 0,017$
B (m)	$2,016 \pm 0,001$	$3,013 \pm 0,001$	$4,015 \pm 0,001$	$6,030 \pm 0,001$	$6,010 \pm 0,001$
C (m)	$0,4874 \pm 0,0001$	$1,4630 \pm 0,0001$	$0,2325 \pm 0,0000$	$0,2637 \pm 0,0002$	$1,4049 \pm 0,0002$
J (m)	$4,4580 \pm 0,0001$	$0,0210 \pm 0,0001$	$0,2703 \pm 0,0001$	$0,057 \pm 0,0001$	$0,0628 \pm 0,0001$
T (m)	$7,788 \pm 0,003$	$-2,945 \pm 0,001$	$-8,449 \pm 0,002$	$-5,480 \pm 0,001$	$-17,751 \pm 0,001$
S (m)	$0,157 \pm 0,023$	$7,440 \pm 0,035$	$18,010 \pm 0,066$	$15,088 \pm 0,036$	$25,280 \pm 0,017$

Fonte: IBGE (2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e).

A relação entre os níveis de referência maregráfica apresentados na Tabela 1 e algumas grandezas associadas à altimetria por satélite são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Relação entre os níveis de referência maregráfica e algumas grandezas da altimetria por satélite.



Fonte: Adaptado de IBGE (2021) e Lu, Qu e Qiao (2014).

2.3 Dados de altimetria por satélite

No presente trabalho empregou-se os dados de SSH_{SA} providos do satélite altimétrico Sentinel-3A entre 23/11/2017 e 05/04/2020. Este satélite foi lançado pela Agência Espacial Europeia em fevereiro de 2016, possui uma resolução temporal de 27 dias e opera a 814,5 km de altitude em uma órbita polar síncrona com o Sol (AVISO, 2022a). O satélite Sentinel-3A juntamente com o seu gêmeo, o Sentinel-3B, fazem parte da missão Sentinel-3 idealizada pelo programa Copernicus que visa fornecer serviços aplicados, principalmente, ao oceano como a previsão numérica do oceano, segurança e proteção marítima, monitoramento da zona costeira, monitoramento do oceano e do gelo (COPERNICUS PROGRAMME, 2022).

O valores de SSH_{SA} são processados pelo DGFI e disponibilizados pelo *Open Altimeter Database* (OpenADB) a uma taxa de amostragem de 1 Hz o que corresponde a uma medição, aproximadamente, a cada 7 km ao longo da trilha (SCHWATKE et al., 2010). Assim sendo, foram confeccionadas células de 7 km de comprimento e 3 km de largura ao longo das trilhas do satélite Sentinel-3A, considerando um raio de até 100 km sobre o oceano a partir da localização dos marégrafos de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana. Segundo DGFI (2022), os dados de altimetria por satélite empregados no estudo são processados pelo *Adaptive Leading Edge Subwaveform Retracker* (ALES) o qual melhora as estimativas do nível do mar em regiões costeiras e alto mar em termos de conteúdo de ruídos. Mais detalhes sobre o processamento estão disponíveis em (PASSARO et al., 2014; PASSARO; FENOGLIO-MARC; CIPOLLINI, 2015; PASSARO et al., 2017). Além

disso, são aplicadas correções de órbita, marés, atmosféricas, entre outras. Desse modo, para considerar que os dados dos satélites altimétricos e os marégrafos estejam observando o mesmo sinal oceânico, removeu-se dos valores de SSH_{SA} , as correções das marés oceânicas e de carga oceânica a partir do *Empirical Ocean Tide Model from Multi-Mission Satellite Altimetry* (EOT11a) (SAVCENKO; BOSCH, 2012) e as correções atmosféricas, altas e baixas frequências a partir do modelo *Dynamic Atmospheric Correction* (DAC), disponibilizado pela *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data* (AVISO).

Os valores de SSH_{SA} são observados em relação ao elipsoide Topex/Poseidon (T/P), enquanto os valores SSH_{TG} foram referenciados ao elipsoide GRS80, conforme foi descrito na seção 2.2. Desse modo, para compatibilizar o sistema de referência, os valores de SSH_{SA} foram convertidos ao elipsoide GRS80 por meio da fórmula descrita em Renganathan (2010):

$$\delta_h = h_1 - h_2 = -((a_2 - a_1)(\cos\Psi)^2 + (b_2 - b_1)(\sin\Psi)^2) \quad (3)$$

onde δ_h corresponde à diferença das altitudes h_1 e h_2 referidas aos dois elipsoides, a_1 e a_2 são os semieixos maiores e b_1 e b_2 são os semieixos menores dos elipsoides T/P e GRS80, conforme apresentado na Tabela 2, e Ψ é a latitude geocêntrica do ponto de interesse para o qual se deseja realizar a conversão. Os valores de δ_h são da ordem de setenta centímetros (RENGANATHAN, 2010).

Tabela 2 – Parâmetros elipsoidais empregados no estudo.

Elipsoide	T/P	GRS80
a (m)	6378136,3	6378137,0
b (m)	6356751,600563	6356752,31414

Fonte: Renganathan (2010) e Moritz (2000).

As células contendo os valores de SSH_{SA} foram correlacionadas com os valores de SSH_{TG} nos marégrafos de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana. A integração temporal se deu pelo valor horário de SSH_{TG} que mais se aproximou das observações de SSH_{SA} . Após a determinação dos coeficientes de correlação, procedeu-se à escolha da célula de altimetria a ser empregada na comparação absoluta com os dados dos marégrafos, pode meio de duas condições:

- escolher as células contidas no intervalo que compreende a classificação de “Correlação muito forte” em cada marégrafo, conforme apresentado na Tabela 3; e
- escolher entre as células definidas no item a, a mais próxima de cada marégrafo.

Tabela 3 – Interpretação do valor da correlação de Pearson.

Coefficiente de correlação (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Shimakura (2006).

Na sequência, a fim de facilitar a escrita, as células que satisfizerem as condições apresentadas acima, em cada marégrafo, foram denominadas de “células escolhidas”.

Por fim, realizou-se a extrapolação SSH_{SA} até a posição dos marégrafos de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana por meio de um MGG e um MDT, conforme será visto com mais detalhes na próxima Seção.

2.4 Extrapolação dos dados altimétricos até a costa

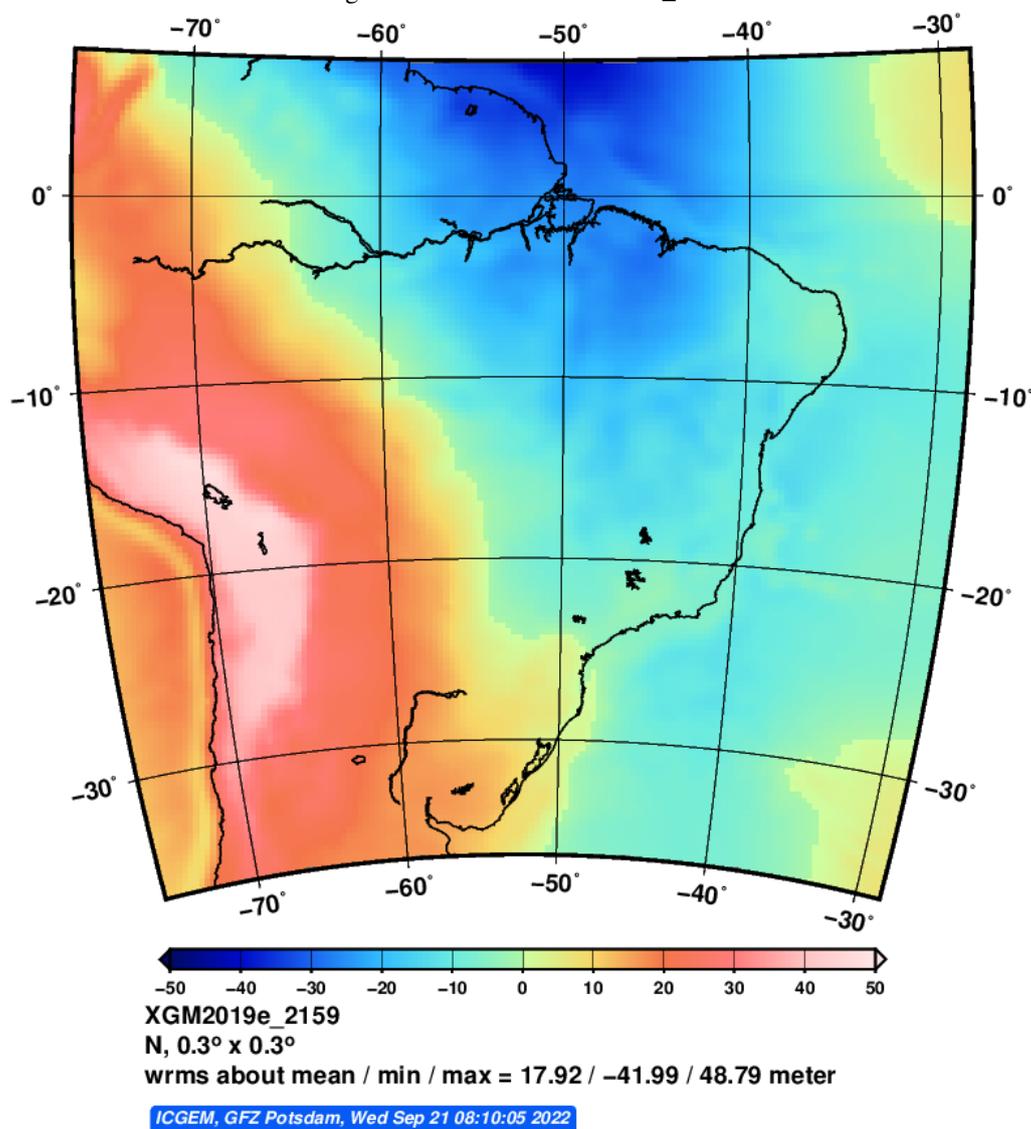
Segundo Acuña e Bosch (2003), o principal fator crítico entre a comparação de dados maregráficos e de altimetria por satélite é o fato de que não se consegue observações de altimetria por satélite na localização do

marégrafo, pois o sinal do radar do altímetro é, em geral, corrompido quando a área de pegada (*footprint*) inclui a superfície terrestre em regiões costeiras.

Como as trilhas dos satélites não passam sobre a localização do marégrafo, torna-se necessário realizar a extrapolação da SSH_{SA} até a costa. Segundo Liebsch et al. (2002), o recomendado seria o emprego de geoides regionais precisos, no entanto, em função da indisponibilidade destes modelos na área de estudo, no presente trabalho foi empregado o MGG XGM2019e_2159, no sistema de maré média, para realizar a extrapolação dos dados altimétricos até a localização de cada marégrafo. O MGG XGM2019e_2159 foi desenvolvido a partir da expansão do potencial gravitacional em harmônicos esféricos até o grau e ordem 2159. Ele é classificado como um modelo combinado de dados que inclui o modelo global do campo gravitacional somente satélite GOCO06s na faixa de comprimento de onda mais longo e gravidade terrestre que cobre os comprimentos de onda mais curtos (ZINGERLE et al., 2020).

Os dados do MGG foram obtidos do *International Center for Global Gravity Field Models* (ICGEM) por meio de seu serviço de cálculo, utilizando a opção (*user-defined points*), onde foram usadas como dados de entrada as coordenadas dos marégrafos e as coordenadas médias referentes à célula que melhor se correlacionou em cada marégrafo (ICGEM, 2022). A Figura 3 apresenta o modelo XGM2019e_2159 na área de estudo, nota-se uma variação da altitude geoidal de, aproximadamente, 5 m a -25 m ao longo da costa do Brasil.

Figura 3 – Modelo XGM2019e_2159.

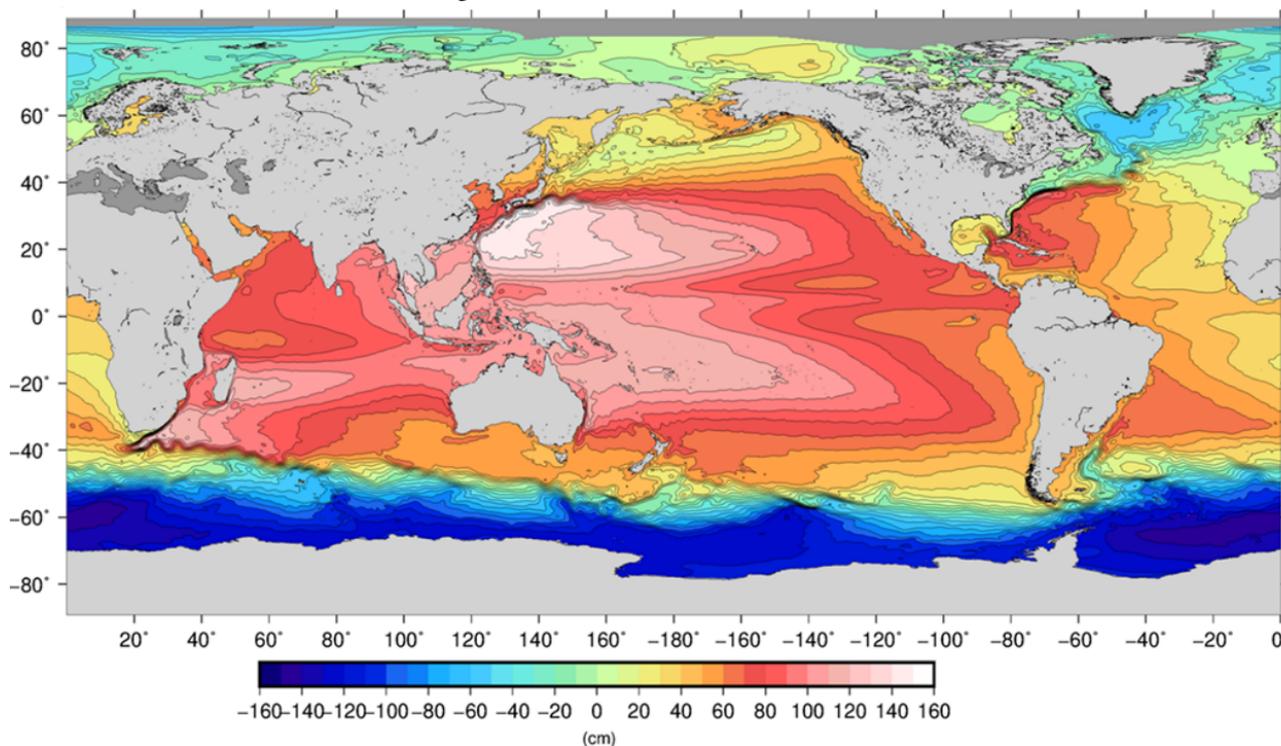


Fonte: ICGEM (2022) e Zingerle et al. (2020).

Além do MGG, também foi aplicado um modelo global de MDT, denominado *CNES-CLS18*, o qual fornece o afastamento entre o nível médio do mar e o geóide. Este modelo foi desenvolvido por meio de dados de

altimetria por satélite, campo de gravidade provindo das missões GRACE e GOCE e medições oceanográficas *in situ* (MULET et al., 2021). A obtenção deste modelo foi realizada a partir da AVISO (AVISO, 2022b). A Figura 4 apresenta os valores globais do MDT CNES-CLS18.

Figura 4 – Modelo Global CNES-CLS18.



Fonte: Mulet et al. (2021).

A célula altimétrica escolhida foi extrapolada até a localização de seu respectivo marégrafo (SSH_{SA-TG}) a partir da subtração de SSH_{SA} com as diferenças da altitude geoidal (dN) e da topografia do nível médio do mar (dh_{MDT}) obtidas para as localizações dos marégrafos de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana e das células, respectivamente, conforme apresentado na Eq. (4) (LIEBSCH et al., 2002):

$$SSH_{SA-TG} = SSH_{SA} - dN - dh_{MDT} \quad (4)$$

Por fim, para atestar a qualidade das observações do satélite Sentinel-3A na costa brasileira, analisou-se as correlações e as médias juntamente com os respectivos desvios entre SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} . Além disso, as distâncias entre as células e os marégrafos também foram discutidas, uma vez que, na Geodésia, se deseja que esta distância seja a menor possível sem afetar a qualidade das observações altimétricas.

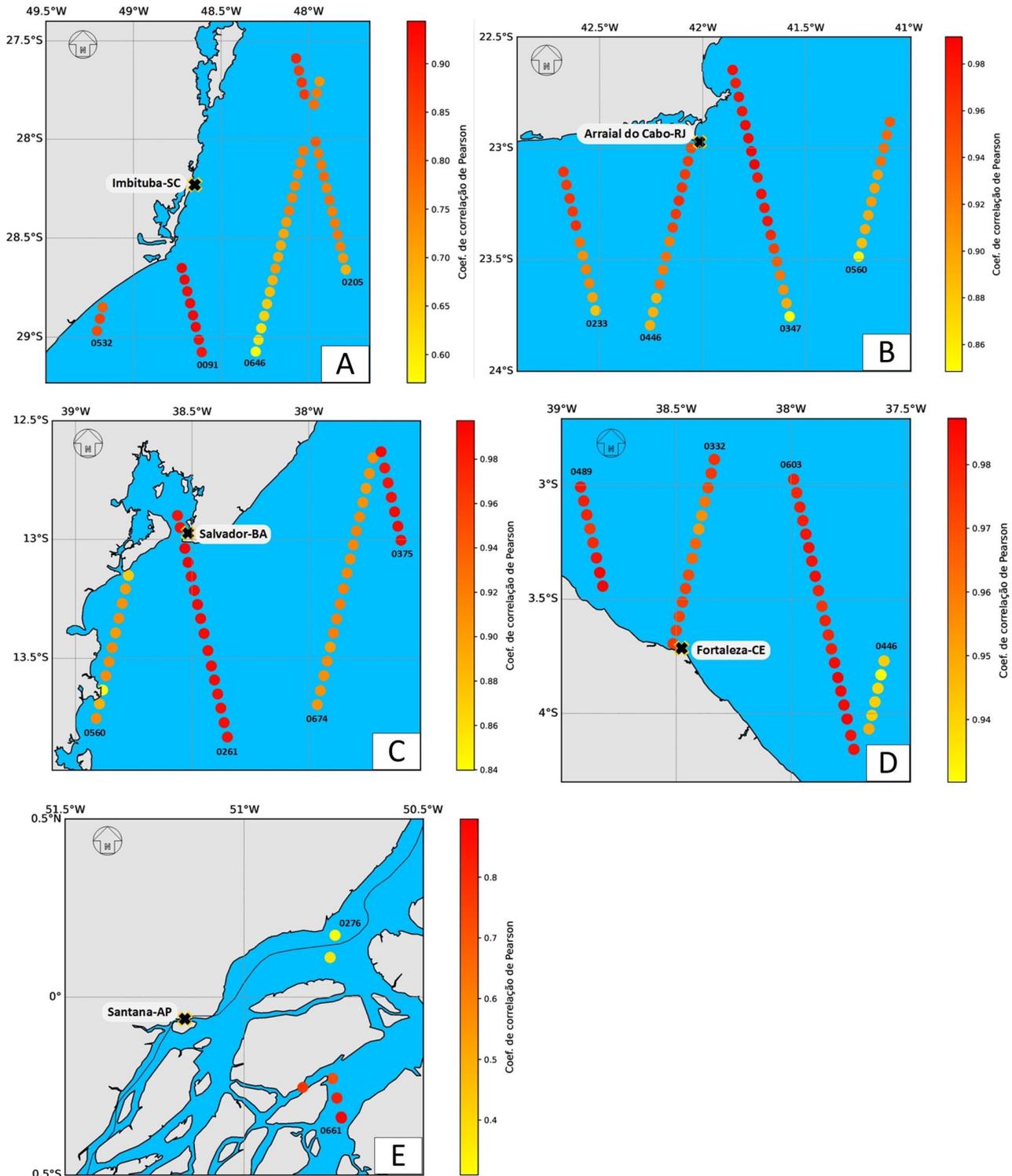
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A integração entre os dados maregráficos de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana e as células de altimetria localizadas ao longo das trilhas do satélite Sentinel-3A, confeccionadas a uma distância de 100 km dos marégrafos, apresentou, predominantemente, correlações fortes e muito fortes de acordo com a classificação de Shimakura (2006), como pode ser observado na Figura 5.

A confecção das células de altimetria dentro da área delimitada por um raio de 100 km sobre o oceano a partir de cada marégrafo permitiu a confecção de 48 células ao longo das trilhas 0532, 0091, 0646 e 0205 em Imbituba (Figura 5A), 55 células ao longo das trilhas 0233, 0446, 0347 e 0560 em Arraial do Cabo (Figura 5B), 52 células ao longo das trilhas 0560, 0261, 0674 e 0375 em Salvador (Figura 5C), 48 células ao longo das trilhas 0489, 0332, 0603 e 0446 em Fortaleza (Figura 5D) e 6 células ao longo das trilhas 0276 e 0661 em Santana (Figura 5E). Em Santana as células se localizaram dentro do Rio Amazonas e da Baía do Vieira Grande, onde a interface terra-água pode corromper o sinal dos satélites, mas mesmo assim, obteve-se correlações muito fortes

em 4 das 6 células (Figura 5E). Essas células altimétricas podem contribuir com futuras pesquisas, pois Santana juntamente com Imbituba definem o Datum Vertical Oficial do Brasil.

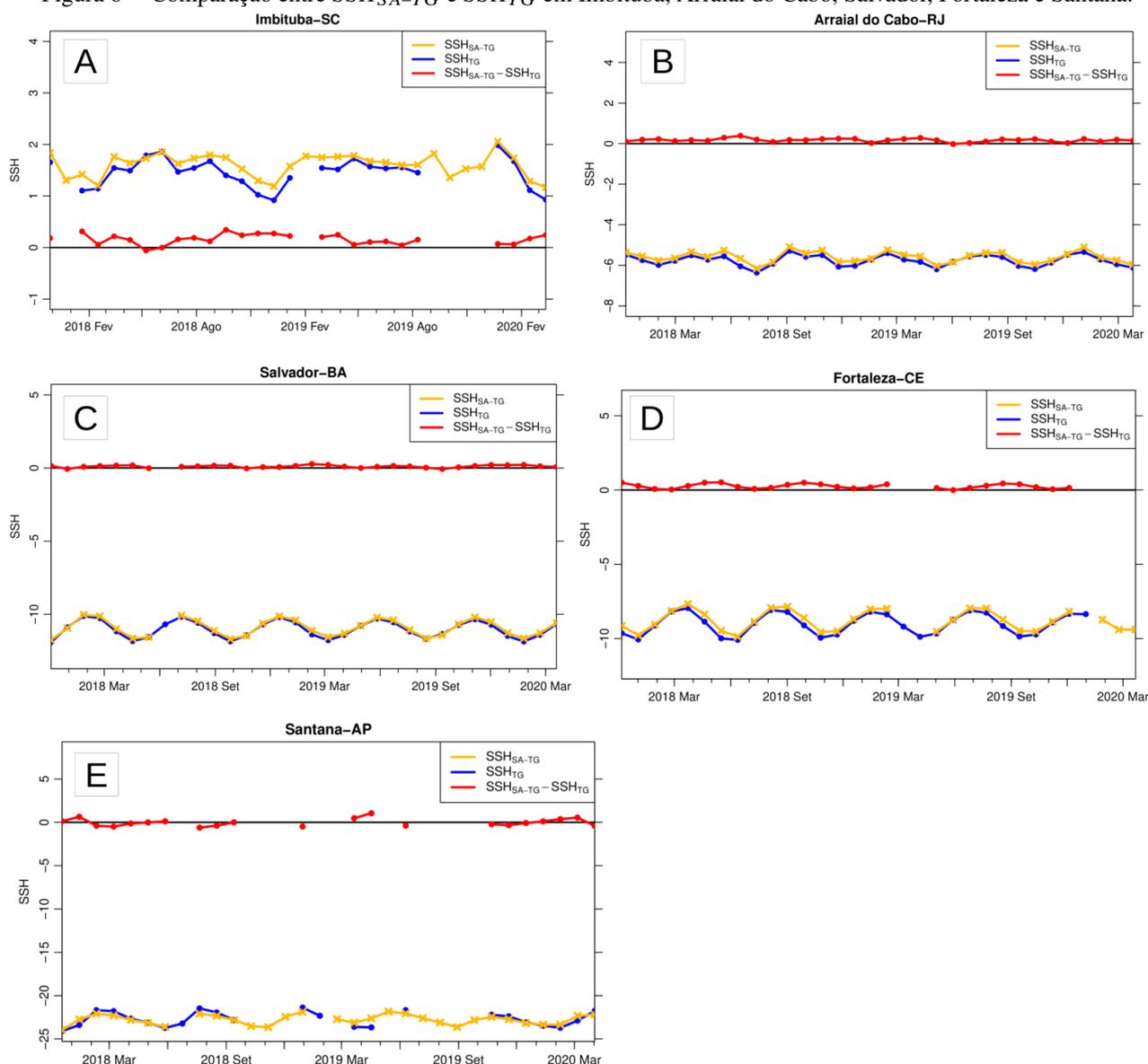
Figura 5 – Correlação entre SSH_{TG} e SSH_{SA} ao longo das trilhas do satélite Sentinel-3A em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana.



Elaboração: Os Autores (2022).

A Figura 6 apresenta os gráficos dos valores de SSH_{TG} (gráfico azul) provindos dos marégrafos em Imbituba (Figura 6A), Arraial do Cabo (Figura 6B), Salvador (Figura 6C), Fortaleza (Figura 6D) e Santana (Figura 6E) e dos valores de SSH_{SA-TG} (gráfico amarelo) das células de altimetria provindas do satélite altimétrico Sentinel-3A que melhor se correlacionaram e mais próximas dos marégrafos. O período de dados está compreendido entre 23/11/2017 e 05/04/2020. Na mesma Figura também são apresentados os resíduos gerados pela diferença entre SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} (gráfico vermelho).

Figura 6 – Comparação entre SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana.



Elaboração: Os Autores (2022).

A Tabela 4 apresenta as coordenadas geodésicas dos marégrafos e das células escolhidas e suas respectivas distâncias, enquanto que a Tabela 5 apresenta o coeficiente de correlação, a média e os desvios para os valores de SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} e suas respectivas diferenças. Destaca-se as pequenas distâncias encontradas entre as células escolhidas e os marégrafos em Arraial do Cabo, Salvador e Fortaleza de 5,37 km, 4,51 km e 4,62 km aliadas às altas correlações de 0,95, 0,99 e 0,98, respectivamente. Este fato demonstra o potencial da missão Sentinel-3A em regiões costeiras e na integração com estes marégrafos para pesquisas futuras. Em Imbituba e Santana foram encontradas distâncias maiores de, 47,39 km e 57,67 km e correlações de 0,94 e 0,90, respectivamente. De acordo com Shimakura (2006), as correlações entre os dados de altimetria e os dados de todos os marégrafos se classificaram como muito fortes (0,90 - 1,00).

Tabela 4 – Coordenadas geodésicas dos marégrafos e das células escolhidas e suas respectivas distâncias.

Marégrafo	Latitude do marégrafo (graus)	Longitude do marégrafo (graus)	Latitude da célula (graus)	Longitude da célula (graus)	Distância entre marégrafo-célula (km)
Imbituba	-28,23119444	-48,65057222	-28,6519254688	-48,72458075	47,39
Arraial do Cabo	-22,97250000	-42,01361111	-23,0002515313	-42,0564230937	5,37
Salvador	-12,97396944	-38,51720833	-12,9504174839	-38,5510247097	4,51
Fortaleza	-3,714597222	-38,47681667	-3,6944926897	-38,513249931	4,62
Santana	-0,3397755667	-50,7289276333	-0,06138888889	-51,16583333	57,67

Elaboração: Os Autores (2022).

Segundo a Tabela 5, as médias de SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} foram, respectivamente, de $1,61 \text{ m} \pm 0,22 \text{ m}$ e $1,46 \text{ m} \pm 0,28 \text{ m}$ em Imbituba, $-5,59 \text{ m} \pm 0,27 \text{ m}$ e $-5,77 \text{ m} \pm 0,28 \text{ m}$ em Arraial do Cabo, $-10,93 \text{ m} \pm 0,57 \text{ m}$ e $-11,03 \text{ m} \pm 0,57 \text{ m}$ em Salvador, $-8,80 \text{ m} \pm 0,67 \text{ m}$ e $-9,02 \text{ m} \pm 0,72 \text{ m}$ em Fortaleza e $-22,78 \text{ m} \pm 0,58 \text{ m}$ e $-22,69 \text{ m} \pm 0,84 \text{ m}$ em Santana. Desse modo, os valores SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} não apresentam diferenças significativas, uma vez que suas médias se encontram dentro do intervalo do desvio-padrão.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação, as médias e os desvios para os valores de SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} e suas respectivas diferenças.

Marégrafos	Coefficiente de correlação	Média SSH_{SA-TG} (m)	Média SSH_{TG} (m)	Média resíduo $SSH_{SA-TG}-SSH_{TG}$ (m)
Imbituba	0,94	$1,61 \pm 0,22$	$1,46 \pm 0,28$	$0,16 \pm 0,10$
Arraial do Cabo	0,95	$-5,59 \pm 0,27$	$-5,77 \pm 0,28$	$0,17 \pm 0,09$
Salvador	0,99	$-10,93 \pm 0,57$	$-11,03 \pm 0,57$	$0,11 \pm 0,08$
Fortaleza	0,98	$-8,80 \pm 0,67$	$-9,02 \pm 0,72$	$0,25 \pm 0,16$
Santana	0,90	$-22,78 \pm 0,58$	$-22,69 \pm 0,84$	$-0,03 \pm 0,44$

Elaboração: Os Autores (2022).

Em relação a média dos resíduos gerados pela diferença entre SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} apresentados na Tabela 5, observou-se valores com variação na primeira e segunda casa decimal, sendo de $0,16 \pm 0,10$ em Imbituba, $0,17 \text{ m} \pm 0,09 \text{ m}$ em Arraial do Cabo, $0,11 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$ em Salvador, $0,25 \text{ m} \pm 0,16 \text{ m}$ em Fortaleza e $-0,03 \text{ m} \pm 0,44 \text{ m}$ em Santana. Analisando o desvio-padrão dos resíduos, nota-se que a maior dispersão, em ordem decrescente, foi em Santana (0,44 m), Fortaleza (0,16 m), Imbituba (0,10 m), Arraial do Cabo (0,09 m) e Salvador (0,08). Em Santana, os valores faltantes observados nos dados maregráficos e a complexidade da região para observações de altimetria por satélite podem ter contribuído para essa maior dispersão.

Na Tabela 6 são apresentados os valores de N (XGM2019e_2159) e h_{MDT} (CNES-CLS18) empregados para a extrapolação das células escolhidas de altimetria até os marégrafos de Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana, conforme apresentado na Eq. (4). Em Imbituba e Santana os valores de dN foram os mais expressivos, $0,504 \text{ m}$ e $-0,513 \text{ m}$, enquanto que em Arraial do Cabo, Salvador e Fortaleza, $0,021 \text{ m}$, $-0,086 \text{ m}$ e $-0,067 \text{ m}$, respectivamente. Este fato deve-se, em grande parte, ao fato das distâncias entre os marégrafos em Imbituba e Santana e as células escolhidas serem maiores, como foi apresentado na Tabela 4. Em relação aos valores de dh_{MDT} , observou-se o maior valor, em Imbituba de $-0,026 \text{ m}$, em Arraial do Cabo e Fortaleza só apareceram variações na casa dos milímetros de $0,006 \text{ m}$ e $-0,001 \text{ m}$, respectivamente, em Salvador o resultado foi nulo e nas proximidades do marégrafo de Santana não há dados disponíveis do MDT CNES-CLS18.

Tabela 6 – Valores N (XGM2019e_2159) e h_{MDT} (CNES-CLS18) nos marégrafos e nas células escolhidas.

Marégrafos	N Célula (m)	N Marégrafo (m)	dN (m)	h_{MDT} Célula (m)	h_{MDT} Marégrafo (m)	dh_{MDT} (m)
Imbituba	1,316	0,813	0,504	0,497	0,523	-0,026
Arraial do Cabo	-6,209	-6,230	0,021	0,456	0,450	0,006
Salvador	-11,641	-11,556	-0,086	0,540	0,540	0,000
Fortaleza	-9,496	-9,429	-0,067	0,508	0,509	-0,001
Santana	-25,112	-24,599	-0,513	-	-	-

Elaboração: Os Autores (2022).

4 CONCLUSÃO

As correlações encontradas entre os dados do satélite Sentinel-3A e os marégrafos em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana foram iguais e acima de 0,90, o que caracteriza, de acordo com Shimakura (2006), uma “Correlação muito forte”.

As distâncias entre as células escolhidas e os marégrafos foram pequenas nos marégrafos em Arraial do Cabo, Salvador e Fortaleza de 5,37 km, 4,51 km e 4,62 km, aliadas as altas correlações de 0,95, 0,99 e 0,98, respectivamente. Este fato demonstra o potencial da missão Sentinel-3A em regiões costeiras e na integração com estes marégrafos para pesquisas futuras.

As médias de SSH_{SA-TG} e SSH_{TG} não apresentaram diferenças significativas em todos os marégrafos analisados, pois se encontraram dentro do intervalo do desvio-padrão, sendo seus valores de 1,61 m \pm 0,22 m e 1,46 m \pm 0,28 m em Imbituba, -5,59 m \pm 0,27 m e -5,77 m \pm 0,28 m em Arraial do Cabo, -10,93 m \pm 0,57 m e -11,03 m \pm 0,57 m em Salvador, -8,80 m \pm 0,67 m e -9,02 m \pm 0,72 m em Fortaleza e -22,78 m \pm 0,58 m e -22,69 m \pm 0,84 m em Santana.

O desvio padrão dos resíduos indica como os dados maregráficos e de altimetria se “ajustaram” um com outro, tendo uma dispersão, em ordem decrescente, de 0,44 m em Santana, 0,16 m em Fortaleza, 0,10 m em Imbituba, 0,09 m em Arraial do Cabo e 0,08 m em Salvador.

Os valores de dN empregados para a extrapolação das células escolhidas até a localização dos marégrafos foram maiores, em Imbituba (0,504 m) e Santana (-0,513 m) e menores em Arraial do Cabo (0,021 m), Salvador (-0,086 m) e Fortaleza (-0,067 m). Este fato deve-se, em grande parte, as distâncias entre os marégrafos em Imbituba e Santana e as células escolhidas serem muito maiores do que as distâncias encontradas em Arraial do Cabo, Salvador e Fortaleza.

A principal contribuição deste trabalho foi verificar a qualidade da integração absoluta entre observações altimétricas que operam no modo SAR, como é o caso do satélite Sentinel-3A, e dados dos marégrafos da RMPG em Imbituba, Arraial do Cabo, Salvador, Fortaleza e Santana, para o período entre novembro de 2017 e abril de 2020. Como recomendações futuras, sugere-se incluir as missões baseadas na altimetria convencional, como as missões Topex/Poseidon, Jason 1, 2 e 3, pela possibilidade de se trabalhar com uma série temporal maior.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 pela concessão da bolsa de estudo.

Contribuição dos Autores

O autor S. G. foi responsável pela conceptualização, investigação da pesquisa, curadoria e visualização dos dados, redigiu a minuta inicial e realizou revisões e edições. A autora R. D. auxiliou na definição da ideia e em revisões e supervisões deste artigo. O autor T. A. S. auxiliou em revisões e supervisões deste artigo.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- ACUÑA, G.; BOSCH, W. Absolute Comparison of Satellite Altimetry and Tide Gauge Registrations in Venezuela. In: [s.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2003. P. 261–269.
- ARIAS, P. A.; BELLOUIN, N.; COPPOLA, E.; JONES, R. G.; KRINNER, G.; MAROTZKE, J.; NAIK, V.; PALMER, M. D.; PLATTNER, G.-K.; ROGELJ, J.; ROJAS, M.; SILLMANN, J.; STORELVMO, T.; THORNE, P. W.; TREWIN, B.; ACHUTA RAO, K.; ADHIKARY, B.; ALLAN, R. P.; ARMOUR, K.; BALA, G.; BARIMALALA, R.; BERGER, S.; CANADELL, J. G.; CASSOU, C.; CHERCHI, A.; COLLINS, W.; COLLINS, W. D.; CONNORS, S. L.; CORTI, S.; CRUZ, F. A.; DENTENER, F. J.; DERECZYNSKI, C.; DI LUCA, A.; DIONGUE- NIANG, A.; DOBLAS-REYES, F. J.; DOSIO, A.; DOUVILLE, H.; ENGELBRECHT, F.; EYRING, V.; FISCHER, E.; FORSTER, P.; FOX-KEMPER, B.; FUGLESTVEDT, J. S.; FYFE, J. C.; GILLETT, N. P.; GOLDFARB, L.; GORODETSKAYA, I.; GUTIÉRREZ, J. M.; HAMD, R.; HAWKINS, E.; HEWITT, H. T.; HOPE, P.; ISLAM, A. S.; JONES, C.; KAUFMAN, D. S.; KOPP, R. E.; KOSAKA, Y.; KOSSIN, J.; KRAKOVSKA, S.; LEE, J.-Y.; LI, J.; MAURITSEN, T.; MAYCOCK, T. K.; MEINSHAUSEN, M.; MIN, S.-K.; MONTEIRO, P. M. S.; NGO-DUC, T.; OTTO, F.; PINTO, I.; PIRANI, A.; RAGHAVAN, K.; RANASINGHE, R.; RUANE, A. C.; RUIZ, L.; SALLÉE, J.-B.; SAMSET, B. H.; SATHYENDRANATH, S.; SENEVIRATNE, S. I.; SÖRENSSON, A. A.; SZOPA, S.; TAKAYABU, I.; TREGUIER, A.-M.; HURK, B. van den; VAUTARD, R.; SCHUCKMANN, K. von; ZAEHLE, S.; ZHANG, X.; ZICKFELD, K. Technical Summary. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Edição: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu e B. Zhou. [S.l.]: Cambridge University Press, 2021. P. 33–144. DOI: 10.1017/9781009157896.002.
- AVISO, Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data. **MISSIONS**. 2022a. Disponível em: <<https://www.aviso.altimetry.fr/en/missions>>. Acesso em: 18 mai. 2022.
- _____. **PRODUCTS**. 2022b. Disponível em: <<https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products.html>>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- CHELTON, D. B.; RIES, J. C.; HAINES, B. J.; LEE-LUENGFU; CALLAHAN, P. S. Satellite Altimetry. In: FU, Lee-Lueng; CAZENAVE, Anny. **Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and applications**. Boca Raton: Academic Press, 2001. cap. 1, p. 1–122.
- COPERNICUS PROGRAMME. **Sentinel-3**. 2022. Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>>. Acesso em: 5 ago. 2022.
- DA SILVA, L. M. **Análise da evolução temporal do datum vertical brasileiro de Imbituba**. 2017. F. 272. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DA SILVA, L. M.; DE FREITAS, S. R. C. Análise da Variação Temporal do Nível Médio do Mar nas Estações da RMPG. In: SYMPOSIUM SIRGAS 2014, La Paz, Bolivia.

- DALAZOANA, R. **Estudos Dirigidos à Análise Temporal do Datum Vertical Brasileiro**. 2006. F. 202. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DGFI, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut. **Open Altimeter Database (OpenADB)**. Disponível em: <<https://openadb.dgfi.tum.de/en/>>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- DREWES, H. The changing objectives in geodetic research. **Zeitschrift für Geodäsie, Geo-Information und Landmanagement**, v. 131, n. 5, p. 1–7, 2006.
- ESCUQUIER, P.; COUHERT, A.; MERCIER, F.; MALLET, A.; THIBAUT, P.; TRAN, N.; AMAROU-CHE, L.; PICARD, B.; CARRERE, L.; DIBARBOURE, G.; ABLAIN, M.; RICHARD, J.; STEUNOU, N.; DUBOIS, P.; RIO, M. H.; DORANDEU, J. Satellite Radar Altimetry Principle, Accuracy, and Precision. In: STAMMER, D.; CAZENAVE, A. **Satellite Altimetry over Oceans and Land Surfaces**. Boca Raton (EUA): CRC Press, 2017. cap. 1, p. 1–62.
- GIEHL, S. **Determinação de Movimentos Verticais da Crosta por Meio da Integração de Observações Maregráficas e da Altimetria por Satélite no Datum Vertical Brasileiro de Imbituba no Período de 2002 a 2015**. 2020. F. 109. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Correlação dos Níveis de Referência – Estação da RMPG em Arraial do Cabo – 2019**. 2022a. Disponível em: <https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%5C%20de%5C%20referencia/Arraial%5C%20do%5C%20Cabo/2019_niveis_referencia_rmpg_arraial_do_cabo.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- _____. **Correlação dos Níveis de Referência – Estação da RMPG em Fortaleza – 2019**. 2022b. Disponível em: <https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%5C%20de%5C%20referencia/Fortaleza/2019_niveis_referencia_rmpg_fortaleza.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- _____. **Correlação dos Níveis de Referência – Estação da RMPG em Imbituba – 2019**. 2022c. Disponível em: <https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%5C%20de%5C%20referencia/Imbituba/2019_niveis_referencia_rmpg_imbituba.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- _____. **Correlação dos Níveis de Referência – Estação da RMPG em Salvador – 2019**. 2022d. Disponível em: <https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%5C%20de%5C%20referencia/Salvador/2019_niveis_referencia_rmpg_salvador.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- _____. **Correlação dos Níveis de Referência – Estação da RMPG em Santana – 2019**. 2022e. Disponível em: <https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/niveis%5C%20de%5C%20referencia/Santana/2019_niveis_referencia_rmpg_santana.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- _____. **Monitoramento da variação do nível médio do mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia : 2001-2020**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2021. P. 115. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101890>>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- ICGEM, International Centre for Global Earth Models. 2022. Disponível em: <<http://icgem.gfz-potsdam.de/home>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

- KUMMU, M.; MOEL, H. de; SALVUCCI, G.; VIVIROLI, D.; WARD, P. J.; VARIS, O. Over the hills and further away from coast: global geospatial patterns of human and environment over the 20th–21st centuries. **Environmental Research Letters**, IOP Publishing, v. 11, n. 3, p. 034010, mar. 2016. DOI: 10.1088/1748-9326/11/3/034010.
- LIEBSCH, G.; NOVOTNY, K.; DIETRICH, R.; SHUM, C. K. Comparison of Multimission Altimetric Sea-Surface Heights with Tide Gauge Observations in the Southern Baltic Sea. **Marine Geodesy**, Informa UK Limited, v. 25, n. 3, p. 213–234, jul. 2002. DOI: 10.1080/01490410290051545.
- LU, Z.; QU, Y.; QIAO, S. **Geodesy: Introduction to Geodetic Datum and Geodetic Systems**. Berlin Heidelberg: Springer, 2014. ISBN 9783642412448.
- MITCHUM, G. T. Monitoring the Stability of Satellite Altimeters with Tide Gauges. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, American Meteorological Society, v. 15, n. 3, p. 721–730, 1998. DOI: 10.1175/1520-0426(1998)015<0721:mtsosa>2.0.co;2.
- MONTECINO, H. D. C.; FERREIRA, V. G.; CUEVAS, A.; CABRERA, L. C.; BÁEZ, J. C. S.; DE FREITAS, S. R. C. Vertical deformation and sea level changes in the coast of Chile by satellite altimetry and tide gauges. **International Journal of Remote Sensing**, Informa UK Limited, v. 38, n. 24, p. 7551–7565, fev. 2017. DOI: 10.1080/01431161.2017.1288306.
- MORITZ, H. Geodetic Reference System 1980. **Journal of Geodesy**, Springer Science e Business Media LLC, v. 74, n. 1, p. 128–133, 2000. DOI: 10.1007/s001900050278.
- MULET, S.; RIO, M. H.; ETIENNE, H.; ARTANA, C.; CANCELET, M.; DIBARBOURE, G.; FENG, H.; HUSSON, R.; PICOT, N.; PROVOST, C.; STRUB, P. T. The new CNES-CLS18 global mean dynamic topography. **Ocean Science**, v. 17, n. 3, p. 789–808, 2021. DOI: 10.5194/os-17-789-2021. Disponível em: <<https://os.copernicus.org/articles/17/789/2021/>>.
- PASSARO, M.; CIPOLLINI, P.; VIGNUDELLI, S.; QUARTLY, G. D.; SNAITH, H. M. ALES: A multi-mission adaptive subwaveform retracker for coastal and open ocean altimetry. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 173–189, 2014. ISSN 0034-4257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.008>.
- PASSARO, M.; FENOGLIO-MARC, L.; CIPOLLINI, P. Validation of Significant Wave Height From Improved Satellite Altimetry in the German Bight. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 53, n. 4, p. 2146–2156, 2015. DOI: 10.1109/TGRS.2014.2356331.
- PASSARO, M.; SMITH, W.; SCHWATKE, C.; PICCIONI, G.; DETTMERING, D. **Validation of a global dataset based on subwaveform retracking: improving the precision of pulse-limited satellite altimetry**. Miami, USA, 2017. Disponível em: <<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1398071/1398071.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2022.
- PBMC, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. P. 184.
- RANEY, R. K. The delay/Doppler radar altimeter. **IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.**, v. 36, p. 1578–1588, 1998.
- RENGANATHAN, V. **Arctic Sea Ice Freeboard Heights from Satellite Altimetry**. 2010. F. 216. Tese (Doutorado) – Department of Geomatics Engineering - University of Calgary.
- SAVCENKO, R.; BOSCH, W. EOT11a-empirical ocean tide model from multi-mission satellite altimetry. **DGFI Report No. 89**, 2012.

SCHWATKE, C.; BOSCH, W.; SAVCENKO, R.; DETTMERING, D. OpenADB - An open database for multi-mission altimetry. In: EGU 2010. **EGU, Vienna, Austria**. Vienna, Austria: [s.n.], 2010. Poster.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. Berlin: Walter De Gruyter, 2003.

SHIMAKURA, S. **Interpretação do coeficiente de correlação**. Departamento de Estatística UFPR. CE003-Estatística II. 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/notes.html>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

ZINGERLE, P; PAIL, R; GRUBER, T; OIKONOMIDOU, X. The combined global gravity field model XGM2019e. **Journal of Geodesy**, Springer, v. 94, n. 7, p. 1–12, 2020.

Biografia do autor principal



Samoel Giehl nasceu em São Paulo das Missões–RS, em 1991. cursou Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Pelotas (2013-2018). Fez mestrado acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná (PPGCG/UFPR)(2018-2020). Atualmente faz doutorado no mesmo programa de Pós-Graduação, atuando como bolsista financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Tem interesse nos seguintes temas: Integração de dados maregráficos e de altimetria por satélite; Sistemas de monitoramento do planeta Terra; Referenciais Verticais; e Monitoramento do nível do mar.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.