



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2024



“A Hidrografia no contexto da Economia do Mar Brasileiro”

A REDUÇÃO DE SONDAGEM EM ÁREAS OFFSHORE: SOLUÇÕES PARA A HIDROGRAFIA BRASILEIRA UTILIZANDO O GNSS E DADOS DE ALTIMETRIA

Santana, F.R.¹; Krueger C.P.²; Souza, A.³; Martins, M.⁴

CHM¹; UFPR²; CHN-4³; CHN-4⁴

rodrigues.santana@marinha.mil.br¹; cpkrueger64@gmail.com²; arthur.souza@marinha.mil.br³;
mauricio.martins@marinha.mil.br⁴

Motivação: Economia: Atualmente, quase 90% das exportações brasileiras são realizadas por vias marítimas, destacando-se o transporte através do Rio Amazonas, por onde são escoados *commodities* como a safra de soja do Centro-Oeste e diversos minerais. Nessa região, existe uma área conhecida como o “quebra-mola” da Barra Norte. Trata-se de uma área a 30 milhas da costa, com cerca de 10 metros de profundidade. Realizar um levantamento hidrográfico nessa região é uma tarefa complexa, pois é dominada pela presença de macromarés, com uma amplitude maior do que 4 metros. Além disso, a estação maregráfica mais próxima, Igarapé Grande do Curuá, não representa a variação do nível do mar de toda área. Soma-se a isso, o fato dessa região encontrar-se sob a influência de uma das maiores descargas sedimentares do mundo, que faz com que o fundo lamoso tenha deslocamentos maiores do que 1 metro em determinadas áreas.

Eficácia: O método atual para realizar a medição de maré nessa região consiste em utilizar um segundo navio, que permanece fundeado, de modo a determinar a variação do nível do mar por meio do registro da variação de profundidade obtida pelo ecobatímetro. Porém esse método é oneroso e impreciso devido ao círculo de giro do navio, que faz com que a alteração de profundidade não seja somente devido à variação da maré, mas à posição do navio em relação ao fundo. Além disso, as duas frequências do ecobatímetro podem dar resultados diferentes dependendo do tipo de fundo. Diante desse cenário, para o Brasil, um país com dimensões continentais e vias navegáveis em constante alteração, faz-se mister o uso de tecnologias que ofereçam melhores resultados a um custo consideravelmente menor.

Precisão: A aplicação da tecnologia GNSS para medição do nível do mar é crucial nesse contexto. Desde 2006, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) conduziu estudos na Baía de Guanabara, utilizando uma variedade de métodos avançados. Estes incluem o RTG (Real Time Gipsy) e técnicas pós-processadas como o PPP (Precise Point Positioning) e o PPK (Post-Processed Kinematic). Tais estudos consistiram no emprego de boias e embarcações com receptores *onboard*, a fim de se determinar a maré pelo GNSS. Também foi avaliado o desenvolvimento de um modelo de separação entre o Nível de Redução de Marés e o Elipsoide, utilizando modelos hidrodinâmicos, geoidais e rastreios GNSS em referências de nível. No entanto, desde então, surgiram novas tecnologias que ainda não foram totalmente exploradas. Um exemplo disso é o uso dos métodos de processamento GNSS acoplados aos sensores inerciais (IA-PPP e IA-PPK), bem como o uso de modelos Oceânicos Globais para definição do NMM e das constantes harmônicas, determinadas por altimetria satelital.

Método: Esse trabalho consiste em três partes. A **primeira parte** envolve a comparação entre métodos de processamento dos dados GNSS coletados durante vinte dias diferentes de levantamentos na Baía de Guanabara ao longo dos anos de 2022 e 2023. Para tal, foram comparados os métodos IA-PPK, que utiliza uma estação de referência, e o IA-PPP, que utiliza estações GNSS globais como referência e é ideal para regiões *offshore*, como a Barra Norte, nas proximidades do Rio Amazonas. A partir dessa comparação, foi possível avaliar a acurácia desses métodos para medição do nível do mar em locais onde não é possível a instalação de estações de referência.

A **segunda parte** contém uma comparação entre as soluções obtidas com o PPP e o ecobatímetro visando a determinação da variação do nível do mar em uma região com macromarés, localizada no litoral maranhense. Para a coleta de dados, foram utilizados dois navios da Marinha do Brasil, o NPOc Iguatemi e o NHiB Ten. Castelo, que realizaram um levantamento na região no ano de 2022. Inicialmente, ambos permaneceram atracados por 3 dias coletando dados tanto do GNSS, quanto do ecobatímetro. Posteriormente, o Iguatemi permaneceu fundeado durante 9 horas, enquanto o Ten. Castelo realizava a sondagem.

A **terceira parte consiste** em uma avaliação do modelo global DTU21MSS para cálculo do nível médio do mar na Barra Norte e do modelo de marés TPXO para extração das constantes harmônicas nessa região. Dessa forma é possível gerar o um modelo de separação (SEP) entre o NR e o elipsoide. Nessa fase, também foi utilizado outro levantamento realizado no litoral do Maranhão no ano de 2023, no qual estiveram envolvidos dois navios, o NHiB Ten. Castelo e o NHo Garnier Sampaio.

Resultados: No que se refere à comparação entre o IA-PPK e os métodos IA-PPP, foi verificado que esse último apresentou uma incerteza, em termos de RMSE, de $\pm 2,3$ cm.



SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROGRAFIA 2024



"A Hidrografia no contexto da Economia do Mar Brasileiro"

Em relação à comparação entre as soluções obtidas com o Ecobatímetro e com o GNSS para medição do nível do mar, foram aplicados dois filtros de média móvel para ambas as séries temporais, o primeiro com uma janela móvel de 5 minutos e o segundo com uma janela móvel de 1 hora. Para o GNSS, foi observado que o filtro de 5 minutos gerou degraus de 50cm em um intervalo de 20 minutos, enquanto o filtro de 1 hora foi capaz de filtrar as maiores frequências, sendo mais representativo das oscilações da maré astronômica.

De outra maneira, ao realizar essa mesma análise com o ecobatímetro e estando o navio fundeado na área de sondagem, foram encontradas variações maiores do que 2m em 5 minutos e maiores do que 3 metros em 8 minutos, o que acaba influenciando no filtro de 1h, pois em 2h40 a sua amplitude foi de 4h38min, o que deveria ocorrer em uma variação de 6h na costa. Isso indica, portanto, uma variação da profundidade medida pelo ecobatímetro, oriunda não da variação da maré, mas da batimetria do fundo, resultado da movimentação do navio.

Para o valor do Zo entre o TPXO e 12 estações maregráficas na região norte, foi verificada um RMSE de ± 18 cm. Quanto ao Nível Médio do Mar (NMM), o método atualmente adotado pelo Brasil para seu cálculo envolve o uso do ecobatímetro de uma embarcação fundeada, de modo que a partir dos seus dados coletados seja possível obter o nível médio do mar. Esse período de coleta de dados pode variar entre 10 e 32 dias, dependendo da especificidade do levantamento hidrográfico. Ao analisar múltiplas séries de 32 dias da estação de Ponta da Madeira no Maranhão, foi encontrada uma amplitude maior do que 20 centímetros, ocasionada pela sazonalidade das condições meteo-oceanográficas da região. Em contrapartida, o período de observação do modelo DTU21MSS perfaz o intervalo de 1993 a 2021.

Discussão: Os resultados obtidos nessa pesquisa possibilitaram a conclusão de que os métodos GNSS oferecem uma alternativa viável tanto para a medição da variação do nível do mar quanto para a redução de sondagens por maré-GNSS. Além disso, demonstraram ser uma opção mais econômica e precisa em comparação com a utilização de um segundo navio fundeado visando a medição da maré. Em outros países, como a Nova Zelândia, já consta nas Normas da Autoridade Marítima que os levantamentos afastados da costa devem ser reduzidos utilizando a maré-GNSS. Um dos grandes entraves da comunidade científica sobre esse ponto consiste na incerteza do modelo geoidal brasileiro. Pode ser comum afirmar que não é possível realizar a redução de sondagem por maré-GNSS devido a falta de dados gravimétricos na costa brasileira. Tal fato, em parte, é verdade, pois em áreas até 15 km da costa ocorre uma degradação dos dados dos satélites altimétricos, o que torna necessário o uso do geóide para interpolar o SEP calculado em áreas *offshore*, por altimetria, com o SEP calculado nas estações maregráficas, por rastreio GNSS.

Porém, em áreas além de 15km da costa, o modelo de separação entre o NR e o elipsóide pode ser definido calculando a separação do NMM para uma determinada época, em relação ao elipsóide, por meio de altimetria. E, em seguida, o valor do Zo, também medido por altimetria. Apesar das principais constantes harmônicas terem apresentado uma incerteza de ± 18 cm, esse valor pode ser considerado aceitável, uma vez que os valores do Zo na foz do rio Amazonas possuem uma grande variação dependendo do regime de seca e cheia do rio.

É verdade que para áreas *onshore* há necessidade de uma maior densidade de dados maregráficos, geodésicos e gravimétricos. Contudo, com tais resultados, pode-se afirmar que o uso da maré-GNSS dá a partida para um ciclo virtuoso na economia do mar brasileiro, pois com modelos SEP mais acurados, os levantamentos hidrográficos possuem menores incertezas e as profundidades nas Cartas Náuticas são mais acuradas. Com isso, os navios têm mais segurança para transportar mais carga e aumentar seus calados, o que traz um aumento da economia de escala para os portos. Com tais recursos, pode-se ter mais investimentos em dados gravimétricos, geodésicos e maregráficos para aumentar a acurácia de modelos SEP, o que realimenta o ciclo do PIB do mar oriundo das vias navegáveis brasileiras.

Conclusão: Esse trabalho apresenta uma avaliação inicial do uso da maré-GNSS em áreas *offshore*, onde não é possível a instalação de estações maregráficas. Foi avaliado o método IAPPP, que não necessita de estações GNSS de referência nas proximidades. Também foi feita uma comparação entre as informações obtidas com o ecobatímetro e o GNSS visando a medição da maré nas águas brasileiras. Em seguida, para determinação do SEP, foram apresentados os modelos TPXO para cálculo do Zo e o DTU21MSS para a determinação do NMM. Os resultados encontrados permitiram concluir que o uso da maré-GNSS oferece resultados mais rápidos, baratos e precisos em relação ao uso de um segundo navio fundeado e utilizando o ecobatímetro visando a medição da maré.

Palavras-chave: GNSS, maré, hidrografia, altimetria, PPP