UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APLICAÇÃO DE RECEPTORES *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM* (GNSS) COM CORREÇÃO DIFERENCIAL PARA DETERMINAÇÃO DA MARÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

LEANDRO MASAYUKI LUSTOSA OKAJIMA
Orientador: M.Sc. Aderson Manoel da Silva Gregorio (CIABA)
Coorientador: Dr. Renan Peixoto Rosário (UFPA)

BELÉM – PARÁ
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APLICAÇÃO DE RECEPTORES *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM* (GNSS) COM CORREÇÃO DIFERENCIAL PARA DETERMINAÇÃO DA MARÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

LEANDRO MASAYUKI LUSTOSA OKAJIMA
Orientador: M.Sc. Aderson Manoel da Silva Gregorio (CIABA)
Coorientador: Dr. Renan Peixoto Rosário (UFPA)

BELÉM - PARÁ
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O41a Okajima, Leandro Masayuki Lustosa
Aplicação de Receptores Global Navigation Satellite System (GNSS) com correção diferencial para determinação da maré / Leandro Masayuki Lustosa Okajima. — 2019.
xii, 45 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Aderson Manoel da Silva Gregorio
Coorientador(a): Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Marés. 2. Sistema de Posicionamento Global. 3. Medidores de Marés. I. Título.

CDD 551.464

Universidade Federal Do Pará

Instituto de Geociências
Faculdade de Oceanografia

APLICAÇÃO DE RECEPTORES *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM* (GNSS) COM CORREÇÃO DIFERENCIAL PARA DETERMINAÇÃO DA MARÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por

LENADRO MASAYUKI LUSTOSA OKAJIMA

Como requisito parcial à obtenção de Bacharel em Oceanografia

Data de aprovação: 03 / 12 / 2019

Banca Examinadora:

M.Sc. Aderson Manoel da Silva Gregório – Orientador
Mestre em Geociências

Prof. Marcelo Rollnic – Membro Titular
Doutor em Oceanografia

M.Sc. Yuri Onça Prestes – Membro Titular
Mestre em Oceanografia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concebeu o dom da vida e durante toda minha jornada me deu forças para sempre levantar, batalhar e conquistar os meus sonhos.

Aos meus pais, Johnny e Bernadete Okajima, que sempre me deram todo o amor que um filho pode receber, ensinando-me o caráter de um homem integro, digno e honesto, além de sempre me apoiarem em todas decisões e sonhos.

As minhas irmãs, Larissa e Letícia Okajima, que sempre foram minhas melhores amigas, estiveram ao meu lado em todos os momentos, bons ou ruins, dando-me os melhores conselhos e ajudas que eu poderia ter.

Ao meu orientador Aderson Gregório e ao meu coorientador Renan Peixoto, pela paciência, disponibilidade e principalmente pelo ensinamento que me passaram.

Aos amigos que a faculdade me proporcionou, Cássia Viana, Leonardo Rodrigues, Matheus Santiago, Shigueo Meirelles e Yan Marcel, que durante toda a graduação foram companheiros e me deram motivação para continuar minha jornada acadêmica.

A todos os amigos que a vida me deu, que estiveram ao meu lado nos momentos de diversão e também de tristeza.

A todos os professores da Faculdade de Oceanografia, por todo o conhecimento passado, qual irei levar para toda minha vida.

A minha turma de 2016, por ter sido uma turma unida que sempre buscou ajudar um ao outro, um ato simples, porém essencial para uma graduação saudável.

Aos que me ajudaram de forma direta e indireta durante minha graduação.

Eternamente grato a todos!

“Em todas as coisas da natureza
existe algo de maravilhoso”.

Aristóteles

RESUMO

A foz do rio Pará é um estuário localizado no nordeste paraense. Uma das suas principais importâncias se dá pelo fato dessa região ser entrada dos principais portos do estado do Pará, tendo o canal do Quiriri como passagem, que atualmente tem profundidade que permite a passagem de embarcações de até 13,8 metros. Especula-se que esses portos movimentam mais de 670 milhões de reais todos os anos. Os métodos de medir a maré são diversos, sendo um dos mais utilizados, a aplicação de marégrafos do tipo boia-contrapeso. Contudo, as metodologias tiveram um grande avanço nesse âmbito. Atualmente o GPS de dupla frequência ou DGPS (*Differential Global Positioning System*) possui elevada acurácia, devido suas medições basearem-se em duas constelações de satélites, as redes GPS (*Global Positioning System*) /GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), juntamente com uma antena instalada em terra (Sistema RTG - *Real Time* Gipsy). Com isso, esse equipamento demonstra-se capaz de medir a maré, através da variação da altitude elipsoidal. Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é analisar e comparar a acurácia e precisão do método de maregrafia por rastreio DGPS em relação ao marégrafo digital do tipo boia-contrapeso, em um sistema estuarino tropical da região amazônica, em duas situações, a primeira onde os equipamentos estavam distantes um do outro e a segunda no qual estavam próximos. Foram produzidos gráficos de maré, regressões lineares e ondeletas de coerência com o intuito de analisar a correlação entre os dois métodos de obtenção de maré. Os resultados das regressões lineares e das ondeletas de coerência demostraram uma forte correlação e coerência entre os dois métodos. Foi observado que quanto menor a distância entre os dados coletados, maior correlação entre os dados de maré. Dessa forma, concluiu-se o método de obtenção de maré através da diferença da altitude elipsoidal dos rastreios DGPS, apresentaram-se eficientes quando comparados com o marégrafo digital do tipo boia-contrapeso. Vale ressaltar que a maregrafia por DGPS é um método de custo elevado quando comparado com o marégrafo digital, devido a isso, o mesmo é indicado para aqueles que visam obter a maré local e já possuem o equipamento e uma embarcação.

Palavras-chave: Marés. Sistemas de Posicionamento Global. Medidores de marés.

ABSTRACT

The Pará river is an estuary located in northeastern Pará. One of its main importance is the fact that this region is the port of the main ports of the state of Pará, with the Quiriri channel as a passage, which currently has depth that allows the passage of vessels up to 13.8 meters. It is speculated that these ports move more than 670 million of reais every year. The methods of measuring the tide are diverse, one of the most used being the application of float-type tide gauges. However, methodologies have made great progress in this area. Currently the dual frequency GPS or DGPS (Differential Global Positioning System) has high accuracy because its measurements are based on two satellite constellations, the Global Positioning System (GPS) / Global Navigation Satellite System (GLONASS) networks, together with an antenna installed on land (RTG System - *Real Time* Gipsy). Thus, this equipment proves to be able to measure the tide by varying the ellipsoidal altitude. With this in mind, the aim of this paper is to analyze and compare the accuracy and precision of the DGPS screening mareograph method in relation to the buoy-counterweight digital tide gauge in a tropical estuarine system of the Amazon region, in two situations, the first one where the equipment was distant from each other and the second in which they were close. Tide graphs, linear regressions and coherence wavelets were produced in order to analyze the correlation between the two tidal methods. The results of linear regressions and coherence wavelets showed a strong correlation and coherence between the two methods. It was observed that the smaller the distance between the collected data, the greater correlation between the tidal data. Thus, the method of obtaining tides through the difference in ellipsoidal altitude of the DGPS screenings was found to be efficient when compared to the digital buoy-counterweight tide gauge. It is noteworthy that DGPS handwriting is a high cost method when compared to the digital tide gauge, because of this, it is indicated for those aiming to get the local tide and already have the equipment and a vessel.

Keywords*:* Tides. Global Positioning System. Tide-gages.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa da localização dos setores da zona costeira estuarina do Pará. Fonte: El-Robrinni *et al.* 2003. 2
Figura 2- Diferentes tipos de ondas geradas no oceano. Fonte: Editado de Pinet, Paul R. Invitation to oceanography 2009. 4
Figura 3- Esquema para determinação da força geradora da maré. Fonte: Adaptado de Stewart 2004..... 7
Figura 4- Distribuição superficial das forças gravitacional e centrífuga. Fonte: Ramos 2007. . 8
Figura 5- Formação da preamar e baixamar. Fonte: Ramos 2007..... 8
Figura 6- Posição dos astros nos momentos de sizígia e quadratura. Fonte: Aquafluxus.com. . 9
Figura 7- Sistema global dos pontos anfidrômico, onde as linhas contínuas são as linhas cotidais e as pontilhadas são as de co-amplitude. Fonte: Stewart 2004. 11
Figura 8- Exemplo idealizado de uma maré progressiva. Fonte: Nogueira 2017. 12
Figura 9- Exemplo idealizado de uma onda estacionária. Fonte: Nogueira 2017. 12
Figura 10- Constelação e satélites da rede GPS. Fonte: nasa.gov. 14
Figura 11- Constelação de satélites da rede GLONASS. Fonte: glonass-iac.ru/en/..... 14
Figura 12- Satélites do Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS). Fonte: Editado de nasa.gov, glonass-iac.ru/en/. 15
Figura 13- Ilustração da técnica RTG. Fonte: Editado de techdifferences.comdifference-between-gps-and-dgps.html. 16
Figura 14- Mapa da localização da Ilha dos Guarás – PA..... 19
Figura 15- Marégrafo digital modelo Thalimedes® (OTT Hydrometry®). Fonte: Jang, Min-Won *et al*. 2015. 23
Figura 16- Rastreador Novatel DL-V3. Fonte: GeoNav satellite systems. 23
Figura 17- Altura elipsoidal. Fonte: Editado de Vaz 2015. 24
Figura 18- Mapa da localização das estações maregráficas e dos fundeio das embarcações realizados em 2011. 25
Figura 19- Estação maregráfica da cidade de Soure – PA. Fonte: Florentino & Gregorio 2011. 26
Figura 20- Estação maregráfica da Ilha dos Guarás. Fonte: Florentino & Gregorio 2011. 26
Figura 21- Mapa da localização da base maregráfica de Abade e do fundeio da embarcação Vega. 27
Figura 22- Fotografia da lancha balizadora Vega. Fonte: Gregorio & Viera 2016. 28

Figura 23- Fotografia da régua hidrográfica e do tubo no qual estava instalado o marégrafo digital em Abade – PA. Fonte: Gregorio & Viera 2016. 28
Figura 24- Processo para o processamento por ponto preciso (PPP). Fonte: ibge.gov.br. 29
Figura 25- Resultado do processamento por ponto preciso da plataforma IBGE-PPP. 30
Figura 26- Rastreios de 1 em 1 min das embarcações fundeadas em 2011, sem interpolação e filtro.....31
Figura 27- Rastreio de 10 em 10 min das embarcações fundeadas em 2011, interpoladas e com a utilização de filtro passa baixa. 32
Figura 28- Dados dos marégrafos digitais e dos rastreios GPS sem correção de defasagem...33
Figura 29- Dados dos marégrafos digitais e dos rastreios GPS com defasagem corrigida. 33
Figura 30- Maré encontrada pelo rastreio por GPS e pelo marégrafo digital em 2017, sem tratamento de filtro passa baixa e interpolação. 34
Figura 31- Maré encontrada pelo rastreio por GPS e pelo marégrafo digital em 2017 interpolado. 34
Figura 32- Gráficos da relação da maré obtida entre os rastreios GPS e os marégrafos digitais realizados em 2011. Os gráficos “a”, “c”, “e” os rastreios das três embarcações em relação ao marégrafo instalado em Soure e os gráficos “b”, “d”, “f” os rastreios das três embarcações em relação ao marégrafo instalado na Ilha dos Guarás. 36
Figura 33- Regressão linear de cada rastreio em relação aos marégrafos digitais realizados em 2011. Os gráficos “a”, “c”, “e” as regressões lineares entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado em Soure e os gráficos “b”, “d”, “f” as regressões lineares entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado na Ilha dos Guarás. A regressão linear apresenta a correlação entre duas variáveis independentes, para isso, é gerado um valor para apresentar o quanto as duas variáveis se ajustaram a reta/linha de tendência, o “R-quadrado”, sendo 100% para máxima e 0% para nenhuma correlação, além de nos apresentar graficamente tais resultados. 37
Figura 34- Ondeleta de coerência para cada rastreio em relação aos marégrafos digitais feitos em 2011. As figuras da coluna esquerda as ondeletas entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado em Soure e as Figuras da coluna esquerda as ondeletas entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado na Ilha dos Guarás, realizados em 2011. Os gráficos de ondeleta de coerência demonstram a coerência entre dois dados em um determinado período de tempo. A coerência é demonstrada em um gradiente de cor, onde a tonalidade amarela (1) indica o máximo de coerência e a tonalidade azul (0) indica nenhuma coerência. O eixo x é representado em dias e o eixo y

representa o período também em dias, sendo em 0,125 o período de 3 h, em 0,25 o período de 6 h (maré sem desigualdade semidiurna) e em 0,5 o período de 12 h (maré semidiurna). Além disso os gráficos de ondeleta possuem um cone destacado, essa região da imagem representa o intervalo de maior confiança dos dados, sendo os dados que estão fora do cone de menor confiança. 38

Figura 35- Regressão linear do rastreio por GPS realizado nas proximidades da Ilha dos Guarás em relação ao marégrafo digital instalado em na cidade de Abade – PA. A regressão linear apresenta a correlação entre duas variáveis independentes, para isso, é gerado um valor para apresentar o quanto as duas variáveis se ajustaram à reta/linha de tendência, o "R-quadrado", sendo 100% para máxima e 0% para nenhuma correlação, além de nos apresentar graficamente tais resultados. 39

Figura 36- Ondeleta de coerência dos dados do o marégrafo digital em relação ao do rastreio GPS, com o gráfico de onda de maré inserido abaixo, coletados no ano de 2017. O gráfico de ondeleta de coerência demonstram a coerência entre dois dados em um determinado período de tempo. A coerência é demonstrada em um gradiente de cor, onde a tonalidade amarela (1) indica o máximo de coerência e a tonalidade azul (0) indica nenhuma coerência. O eixo x é representado em dias e o eixo y representa o período também em dias, sendo em 0,125 o período de 3 h, em 0,25 o período de 6 h (maré quartodiurna) e em 0,5 o período de 12 h (maré semidiurna). Além disso os gráficos de ondeleta possuem um cone destacado, essa região da imagem representa o intervalo de maior confiança dos dados, sendo os dados que estão fora do cone de menor confiança. 40

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS iv
RESUMO vi
ABSTRACT vii
1 INTRODUÇÃO 1
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO 4
2.1 ONDAS GERADAS NOS OCEANOS 4
2.2 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA MARÉ 4
2.3 TIPOS DE MARÉ 5
2.3.1 Maré astronômica 5
2.3.2 Maré meteorológica 5
2.4 FORÇAS GERADORAS DE MARÉ 6
2.5 FORÇA CENTRÍFUGA E GRAVITACIONAL 7
2.6 MARÉ E AS FASES DA LUA 8
2.7 DECLINAÇÃO LUNAR 9
2.8 TEORIA DA MARÉ DINÂMICA 10
2.9 AMPLITUDE DE MARÉ 11
2.10 COMPORTAMENTO DA MARÉ EM ESTUÁRIOS 11
2.11 INSTRUMENTOS MEDIDORES DE MARÉ 13
2.12 GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) 13
2.13 TÉCNICA RTG (*REAL TIME* GIPSY) 15
2.14 DATUM ALTIMÉTRICO HIDROGRÁFICO 16
2.15 PPP (POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO) 16
3 OBJETIVO 18
3.1 OBJETIVO GERAL 18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
4 ÁREA DE ESTUDO 19
4.1 GEOLOGIA 19

4.2 CLIMA 20
4.3 HIDROGRAFIA 20
4.4 SALINIDADE 20
4.5 FAUNA E FLORA 21
4.6 IMPORTÂNCIA SOCIAL 21
5 MATERIAIS E MÉTODOS 22
5.1 AQUISIÇÃO DE DADOS 22
5.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS 22
5.2.1 Marégrafo digital do tipo boia-contrapeso 22
5.2.2 Rastreador GPS de dupla frequência 23
5.3 COLETA DOS DADOS DE 2011 24
5.4 COLETAS DE DADOS DE 2017 27
5.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS 29
5.5.1 Conversão para Rinex 29
5.5.2 Plataforma IBGE – PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) 29
5.5.3 Processamento dos dados de 2011 31
5.5.4 Processamento dos dados de 2017 33
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
6.1 COLETAS DISTANTES 36
6.1.1 Regressão linear 36
6.1.2 Ondeleta de coerência 38
6.2 COLETAS PRÓXIMAS 39
6.2.1 Regressão linear 39
6.2.2 Ondeleta de coerência 39
6.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MÉTODO 41
7 CONCLUSÕES 42
REFERÊNCIAS 43

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Davies (1964), o estuário representa uma reentrância do mar que atinge o vale de um rio até o limite da onda de maré. O autor também divide os estuários em três setores: estuário inferior, médio e superior. Devido à elevada produtividade biológica dos estuários e posição estratégica, esses ambientes tornam-se polos de urbanização que acarretam no uso desenfreado dessas regiões para a construção de portos, comércio, lazer e moradia (Almeida & Silva 2012).

A zona costeira do nordeste paraense é repleta de recortes, formados pelas diversas reentrâncias que se assemelham a desembocadura de rios, e por isso são denominadas de "falsas rias" (El-Robrinni *et al.* 2003). Tratam-se de regiões estuarinas que são predominantemente envoltas de manguezais, que favorecem a vida de organismos eurihalinos por parte ou por todo seu ciclo de vida. Neste contexto está a ilha dos Guarás, inserida na Costa Atlântica do salgado paraense, pertencente a região nordeste do estado do Pará. A partir das pesquisas realizadas por El-Robrinni *et al.* (2003), a zona costeira estuarina do Pará foi dividida em três grandes setores (Figura 1):

- Setor 1: Costa Atlântica do Salgado Paraense, repleta de reentrâncias ("falsas rias");
- Setor 2: Insular Estuarino do rio Amazonas, que possui alta influência do rio Amazonas;
- Setor 3: Continental Estuarino do rio Pará/ Baía de Marajó, uma região estuarina localizada a mais de 100 km do oceano Atlântico.

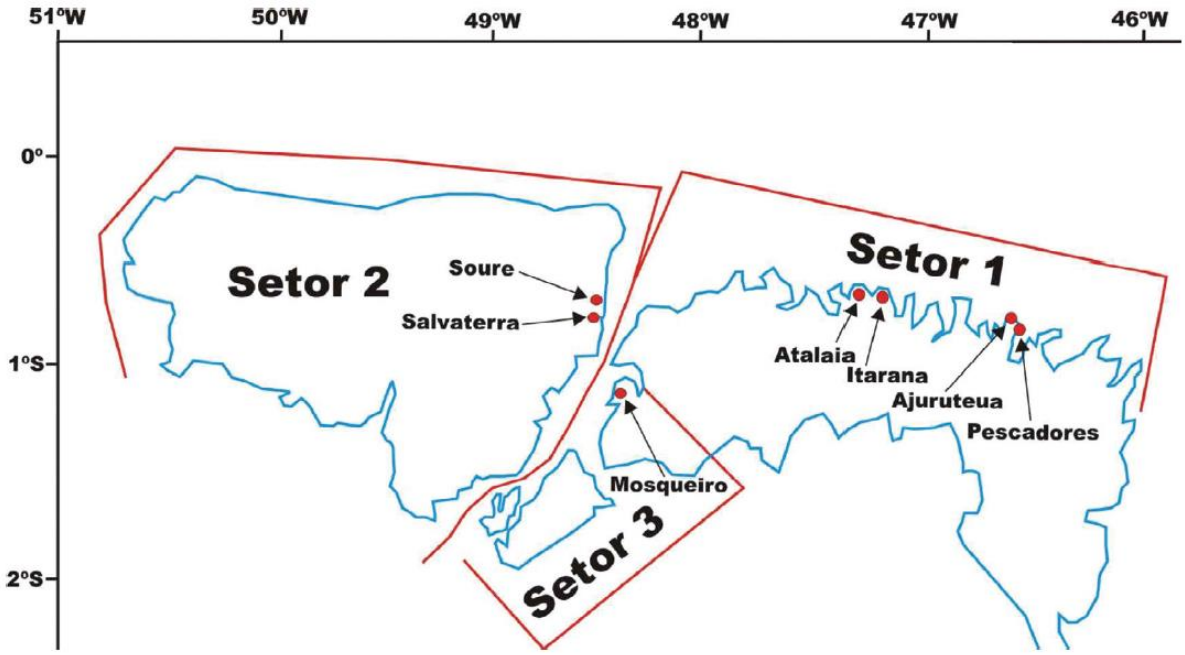

Figura 1- Mapa da localização dos setores da zona costeira estuarina do Pará. Fonte: El-Robrinni *et al.* 2003.

A foz do rio Pará é de extrema importância para o estado, devido ser uma das rotas de entrada e saída dos rios navegáveis da bacia amazônica. Através do canal do Quiriri, as embarcações tem acesso aos principais portos do Pará, que atualmente recebem embarcações de até 13,8 metros de calado. Anualmente, os portos públicos paraenses de Vila do Conde, Miramar, Belém e Outeiro movimentam mais de R$ 670 milhões de reais em cargas, que partem do rio Pará carregados com alumínio, animais vivos, caulim e produtos químicos inorgânicos, totalizando um movimento anual de 19 milhões de toneladas de produtos (Sindopar 2017). Sendo assim, estudos a respeito da maregrafia desse local é de extrema relevância para a economia do estado, analisando a circulação de embarcações e promovendo atualizações das cartas náuticas que irão indicar o tamanho de calado permitido para transitar pelos canais.

Um dos primeiros métodos de medição de maré foi através da régua, no qual é fundeada em um local que sempre esteja submerso e dependia de um maregrafista para observar e registrar a altura do nível da água. Atualmente, um dos métodos mais utilizados para a medição de maré é feito pelo marégrafo do tipo de boia-contrapeso, que registra a oscilação do nível d'água através dos movimentos verticais do sistema de boia. Com o avanço da tecnologia tivemos as primeiras aplicações GPS (*Global Positioning System*) para observação do nível do

mar, que foram realizadas na década de 90, por intermédio de boias equipadas com receptores GPS (Hein *et al.* 1990).

Atualmente, o GPS de dupla frequência (DGPS - *Differential Global Positioning System*) possui elevada acurácia, devido fazer suas medições baseado em uma constelação de satélites das redes GPS (*Global Positioning System*) /GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) em relação a uma antena instalada em terra, seu referencial fixo (Vaz 2015). Dessa forma, o DGPS demonstra-se capaz de medir a oscilação do nível da água, baseado na variação da altitude elipsoidal, cujos dados foram obtidos em embarcações fundeadas.

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi analisar e comparar a acurácia e precisão do método de maregrafia por rastreio DGPS, em relação ao marégrafo digital do tipo boia-contrapeso, na região da ilha dos Guarás, Baía do Marajó - PA.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 ONDAS GERADAS NOS OCEANOS

A superfície do mar pode ser perturbada por diversos tipos de ondas, desde as ondas capilares, ondas geradas pelo vento, até os tsunamis, gerados por eventos tectônicos, por exemplo. Dentre esses vários tipos de ondas, tem-se a onda de maré, que varia periodicamente o nível do mar, através da variação do campo superficial terrestre, pela interação da Terra em relação à Lua e ao Sol, sendo a primeira a mais significante (Holthuijsen 2007).

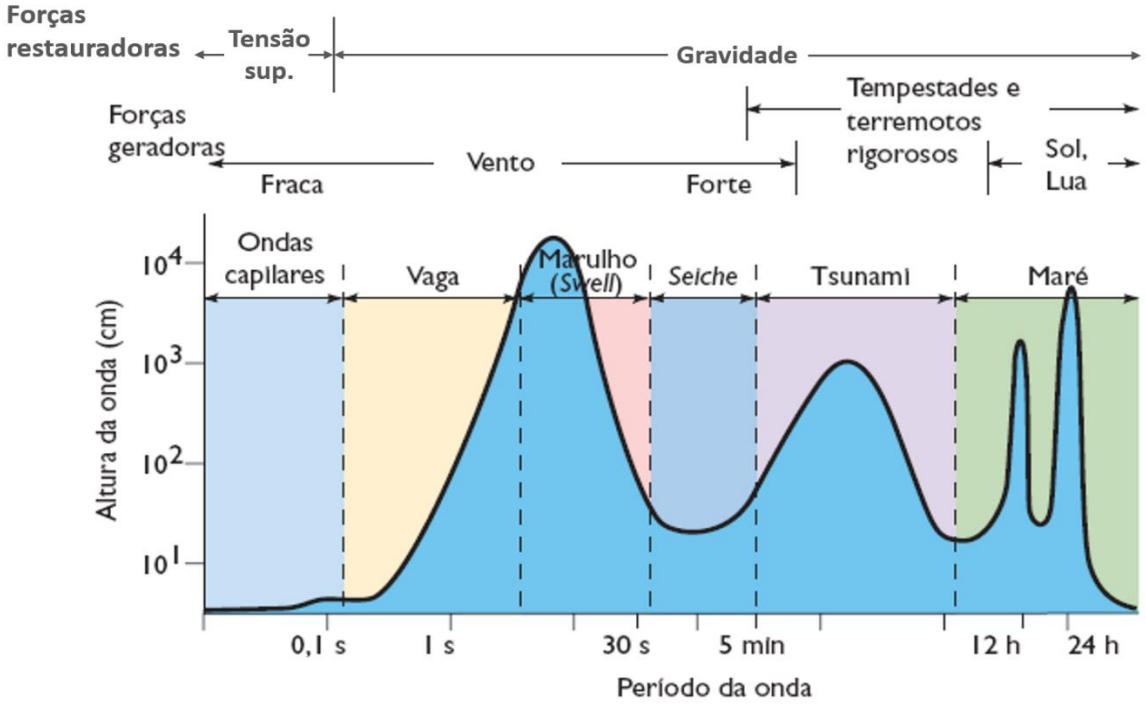

Figura 2- Diferentes tipos de ondas geradas no oceano. Fonte: Editado de Pinet, Paul R. Invitation to oceanography 2009.

2.2 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA MARÉ

A maré é de suma importância por participar de diversos processos, sendo eles biológicos (alimentação, distribuição, reprodução, comportamento dos organismos), físicos (distribuição de correntes, dinâmica com a costa), geológicos (na erosão da costa, distribuição de sedimentos) e geofísicos (na determinação do geoide).

A onda de maré não gera uma oscilação maior do que meio metro no oceano, porém quando adentra regiões mais rasas, a maré pode promover uma oscilação de mais de dez metros,

como em um caso extremo na baía de Fundy – Canadá, onde a oscilação alcança 15 metros (Unesco 1985). Sendo assim, o conhecimento da maré também é de grande importância para a navegação, principalmente na entrada de embarcações para o continente. Além disso o estudo da maré é fundamental na idealização de projetos costeiros e oceânicos, como pontes, portos, espigões, barreiras de contenção, dragagens e também de maremotrizes em geral, que geram energia limpa, o futuro da produção energética.

2.3 TIPOS DE MARÉ

2.3.1 Maré astronômica

A principal forçante geradora da onda de maré é aquela através dos astros. A maré astronômica ocorre quando o Sol e a Lua provocam um movimento da massa d'água terrestre devido a atração de seu campo gravitacional exerce. Assim como a Terra possui uma trajetória elíptica ao redor do Sol, a Lua Possui a mesma trajetória em relação a Terra, com isso, é de se imaginar que sejam observadas diferentes marés na Terra. Apesar da massa do Sol ser muito maior, quem exerce maior influência nas marés é a Lua, devido à distância ser mais relevante que a massa celeste. (Pugh 1987).

2.3.2 Maré meteorológica

A maré meteorológica ocorre principalmente através de dois eventos distintos. O primeiro é através da pressão atmosférica, que atua de forma vertical na superfície do mar. O acréscimo de um milibar na pressão atmosférica diminui o nível da água em, aproximadamente, um centímetro, efeito denominado barométrico invertido.

A segunda forma é através da força de cisalhante do vento, que devido ao atrito gerado pelo vento, as massas d'água são movimentadas. Superficialmente, as correntes são geradas na mesma direção do vento, ocasionando um transporte de massas d'água que também influencia no nível da água.

Sendo assim, as variações da pressão atmosférica e a intensidade do vento, podem fazer com que as previsões de maré sejam diferentes do que é observado, sendo uma perturbação positiva quando a maré é maior do que o esperado e negativa na situação oposta. (Pugh 1987, Unesco 1985).

2.4 FORÇAS GERADORAS DE MARÉ

O sistema Terra-Lua se comporta da mesma forma que o sistema Terra-Sol, em um sistema de translação no qual a Lua orbita em torno da Terra em um ciclo de 27,3 dias. Essa órbita possui um movimento elíptico e o centro de gravidade comum do sistema Terra-Lua se encontra por volta de 4700 quilômetros do centro da Terra. Ambos os corpos celestes se mantêm em equilíbrio devido a atração gravitacional e a força centrífuga gerada pela rotação de cada corpo em torno do seu próprio eixo (Open University Course Team 2002).

De acordo com Lei da Gravitação Universal criada por Newton, a Terra (M_T) sofre ação da força gravitacional (F_g) gerada por outros corpos celestes de massa M a uma distância r, conforme a equação:

$$F_g = G \frac{M_T \cdot M}{r^2} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde G é a constante gravitacional universal definida no SI, sendo igual a $6{,}6725985.10^{-11} m^3 Kg^{-1} S^{-2}$ (Open University Course Team 2002).

O planeta Terra, de massa T, atrai certa unidade de massa (P) em sua superfície que está a r de distância, com uma aceleração g. Dessa mesma forma, a Lua de massa L, 82 vezes menor que a da Terra, atrai a massa P à uma distância muito maior, cerca de 60 vezes o raio r, com uma força F_A (equação 2), e atrai essa mesma massa P com uma força que tem a mesma intensidade da força centrífuga F_C (equação 3). Dessa forma, a força resultante F_M (equação 4) sobre um ponto sobre a superfície terrestre, é a força geradora de maré.

$$F_A = g\,(L/T) \cdot (r^2/d^2) \qquad \text{(Equação 2)}$$

$$F_C = g\,(L/T) \cdot (r^2/D^2) \qquad \text{(Equação 3)}$$

$$F_M = F_A - F_C \qquad \text{(Equação 4)}$$

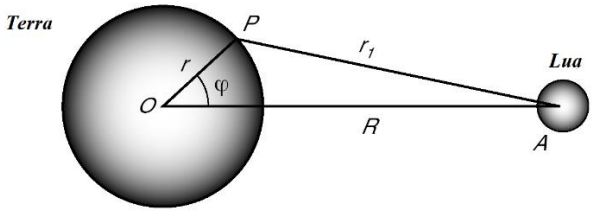

Figura 3- Esquema para determinação da força geradora da maré. Fonte: Adaptado de Stewart 2004.

A força geradora de maré produz duas componentes, uma vertical (perpendicular) e uma horizontal, sendo essa última conhecida como força trativa. A força trativa, apesar de sua pequena magnitude, é responsável pelo movimento da massa de água do planeta, como demostrado na Figura 3.

Vale ressaltar que apesar da massa do Sol ser muito maior que a massa da Lua, quem exerce uma maior força geradora de maré é a Lua, a força trativa gerada pelo Sol, por exemplo, corresponde aproximadamente 46% da gerada pela Lua. Isso deve-se pelo fato de a força geradora de maré ser função do inverso do cubo da distância (Franco 1997).

2.5 FORÇA CENTRÍFUGA E GRAVITACIONAL

A força centrífuga é gerada pelo movimento de rotação da Terra, no qual o planeta gira em torno do seu próprio eixo, que possui uma inclinação de 23,5° em relação a sua elipse. Essa força é constante em todos os pontos da Terra, ao contrário da força gravitacional, pois a Terra possui vários pontos com diferentes distâncias da lua, com isso, quanto mais perto da Lua for o ponto, maior será a força gravitacional exercida sobre ele (Silva 1972).

A maré é formada quando a Lua exerce sua força gravitacional e atrai as massas d’águas de um dos lados da superfície da terra e do outro lado, devido a força centrífuga da rotação da terra, move as massas oceânicas para o lado oposto. Assim, a água da superfície terrestre se distribui em dois grandes bulbos, cada um na direção das forças citadas acima, demonstrado na Figura 4.

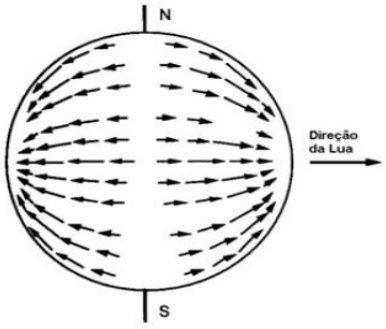

Figura 4- Distribuição superficial das forças gravitacional e centrífuga. Fonte: Ramos 2007.

Com a distribuição dessas forças também é gerada a preamar e a baixamar, que são os momentos em que um ponto da terra está na região de atuação das forças. Na região em que foi formado o bulbo, é observada a preamar, e quando o ponto observado está perpendicular à atuação das forças, é observada a baixamar, como demostrado na Figura 5.

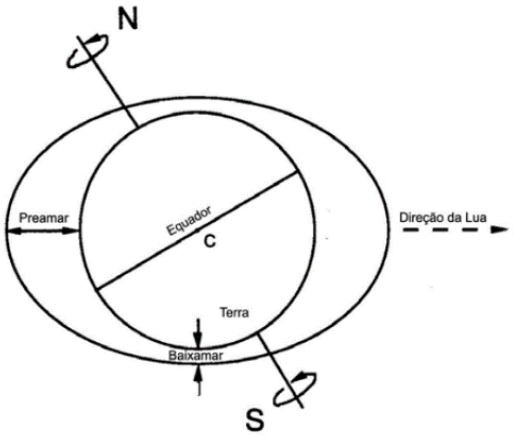

Figura 5- Formação da preamar e baixamar. Fonte: Ramos 2007.

2.6 MARÉ E AS FASES DA LUA

A Lua possui um ciclo de 29,3 dias, durante esse ciclo há uma mudança de posição em relação a terra e também ao Sol. Dessa forma, é de se esperar que haja diferentes marés na superfície terrestre com as variações dos ângulos entre as foças gravitacionais geradas pela Lua e pelo Sol (Figura 6).

A maré de sizígia é marcada pela presença da Lua cheia e nova, tendo o Sol em conjunção ou oposição a Lua. Nessas fases da Lua a força geradora de maré possui maior amplitude. Isso ocorre devido a combinação das forças gravitacionais dos dois astros.

A maré de quadratura ocorre na presença da Lua minguante e crescente, com o Sol em posição perpendicular à Lua. Nesses momentos lunares, a força geradora de maré possui menor amplitude, devido as forças geradoras estarem opostas (Franco 1997, Silva 1972).

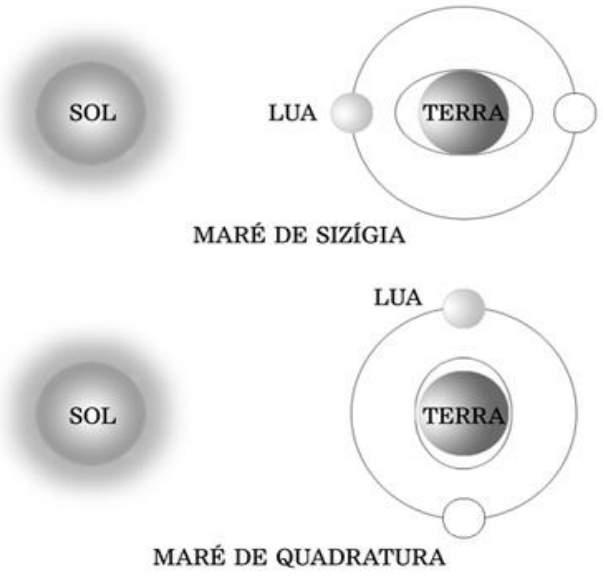

Figura 6- Posição dos astros nos momentos de sizígia e quadratura. Fonte: Aquafluxus.com.

2.7 DECLINAÇÃO LUNAR

A Lua gira em torno da Terra em um percurso elíptico, e a terra ocupa um dos focos dessa elipse, sendo assim, terão momentos em que a Lua fica mais próxima da Terra, denominado perigeu, e momentos em que a Lua fica distante da Terra, denominado apogeu. Assim como a Terra, a Lua também possui um ângulo de declinação em relação a sua elipse, sendo este de aproximadamente de 5°. Devido a isso, a maré irá ocorrer em diferentes tamanhos mesmo em pontos de mesma latitude.

Quando a Lua está à uma declinação zero, ou seja, sobre o equador, a altura de maré é igual em ambos os pontos, sendo esse fenômeno denominado de maré semidiurna. Entretanto, em um dia Lunar, que tem aproximadamente 23 h e 50 min, os pontos de mesma latitude podem ter duas preamares e duas baixa-mares de alturas diferentes, fenômeno esse, denominado de maré com desigualdade semidiurna. E por último temos o fenômeno de maré sem desigualdade semidiurna, que ocorre quando a maré possui duas preamares e duas baixa-mares de mesmo período, com duração aproximada de 6 h e 13 min cada (Franco 1997, Silva 1972).

2.8 TEORIA DA MARÉ DINÂMICA

Quando Newton formulou a teoria do equilíbrio das marés no século XVII, havia uma discrepância entre os valores de maré previstos e os observados de fato. A teoria dizia que a Terra teria duas intumescências, uma oposta à outra, e que essas massas d'água se moveriam uniformemente do ocidente para o oriente conforme a rotação da Lua e do Sol. Todavia, essa teoria não foi estudada a fundo naquele momento (Unesco 1985).

Somente no século XVIII a teoria da maré dinâmica foi formulada por cientistas e matemáticos, como Bernoulli, Euler e Laplace, que inseriram ao modelo as características reais da terra, como a batimetria das bacias oceânicas, inércia, a força coriolis e as friccionais, que sim, influenciavam o movimento do fluido juntamente com a Lua e o Sol em relação à Terra. No entanto, a adição dessas diversas variáveis tornou a equação extremamente complexa, que vem sendo refinada até hoje, fazendo com que os valores previstos sejam praticamente exatos, apenas com erros de poucos centímetros, muitas vezes causadas por fenômenos meteorológicos (Open University Course Team 2002).

A maré é uma onda longa que se propaga na superfície terrestre e está sujeita a diversas barreiras que mudam o seu percurso. Devido à presença de feições na bacia oceânica, um dos fenômenos que acontecem com a onda de maré é a reflexão. Essa reflexão forma ondas estacionárias, que juntamente com a rotação da Terra geram sistemas de pontos anfidrômicos, intimamente relacionado com a força coriolis (Unesco 1985).

Os pontos anfidrômicos são regiões onde a maré é nula, ou seja, onde não há a mudança do nível da água causado pela maré. Os pontos anfidrômico estão espalhados por todos os oceanos, formando um sistema anfidrômico. A partir desses pontos, a maré tem uma propagação com sentido horário no hemisfério sul e anti-horário no hemisfério norte.

Os pontos podem ser interligados através das linhas cotidais, que indicam quais pontos estão em mesma fase de seu ciclo. Esse ciclo se completa quando a crista da onda de maré alta gira em torno de um ponto anfidrômico. Em volta do ponto anfidrômico também existem as linhas de co-amplitude, que indicam o valor da amplitude da onda de maré, sendo essa, crescente ao se afastar do ponto, demonstrado na Figura 7 (Open University Course Team 2002).

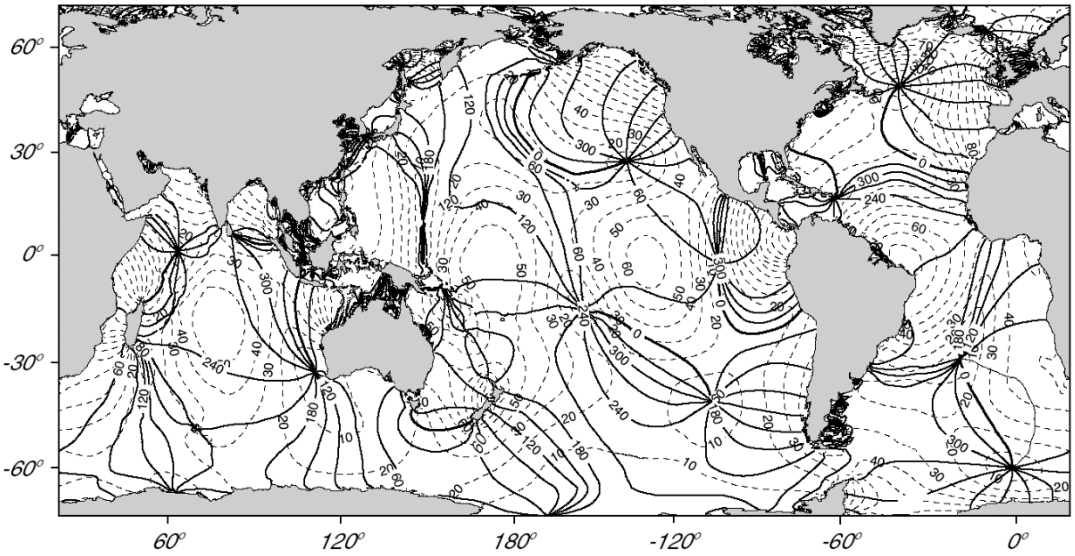

Figura 7- Sistema global dos pontos anfidrômico, onde as linhas contínuas são as linhas cotidais e as pontilhadas são as de co-amplitude. Fonte: Stewart 2004.

2.9 AMPLITUDE DE MARÉ

A altura da onda de maré é dada pela diferença de elevação entre o máximo da crista e o nível mínimo do cavado, já o comprimento da onda de maré é dado pela distância entre duas cristas e dois cavados. Esses dois fenômenos da onda de maré podem acontecer uma ou duas vezes durante o dia, sendo denominado a maré diurna aquela que possui o ciclo de 25 horas e a maré semidiurna a que possui o ciclo de 12 h e 40 min.

A amplitude da onda de maré, por definição, é a diferença de nível entre a crista ou cavado e o nível médio do mar. No oceano, a maré possui uma média de amplitude de meio metro, porém, ao adentrar regiões costeiras como baías e estuários, a maré pode a aumentar sua amplitude, contudo, oscilando na mesma frequência. Com isso, há quatro tipos de maré: a Micromaré (menor que 1 metro de amplitude), a Mesomaré (entre 1 e 2 metros de amplitude), a Macromaré (entre 2 e 3 metros de amplitude) e por fim a Hipermaré (maior que 3 metros de amplitude) (Davies 1964).

2.10 COMPORTAMENTO DA MARÉ EM ESTUÁRIOS

A onda de maré ao entrar em um estuário gera uma corrente, e essa tem ligação direta com a profundidade da coluna d’água, por isso, a crista da onda se propaga mais rápido que o

cavado, gerando uma assimetria no ciclo da maré, fazendo com que a mesma atinja a preamar em um período de tempo menor do que para atingir a baixamar.

A assimetria de maré é gerada principalmente por dois fatores, pela fricção (atrito) e pela morfologia do canal. Quando a morfologia do canal é mais influente sobre a maré, a onda é comprimida lateralmente, o que causa um aumento na velocidade da onda, para que a energia da mesma seja conservada. Nas situações em que a fricção é mais atuante sobre a onda, ocorre maiores variações na amplitude da maré.

As velocidades das correntes de maré nem sempre estão em fase com sua crista e cavado. Na foz do estuário a onda de maré se comporta com uma onda progressiva, tendo a velocidade máxima da corrente de enchente no mesmo período da altura máxima da maré (Figura 8), diferente de quando a onda adentra no estuário, comportando-se de maneira estacionária, tendo na máxima de preamar uma corrente igual a zero (Figura 9) (Open University Course Team 2002).

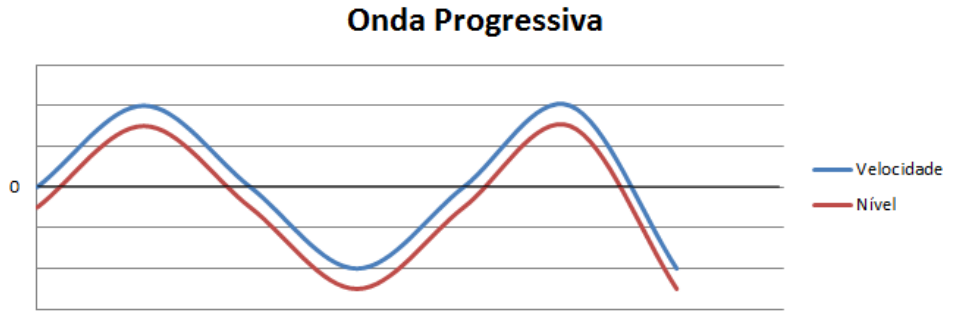

Figura 8- Exemplo idealizado de uma maré progressiva. Fonte: Nogueira 2017.

Figura 9- Exemplo idealizado de uma onda estacionária. Fonte: Nogueira 2017.

2.11 INSTRUMENTOS MEDIDORES DE MARÉ

O equipamento responsável por mensurar a onda de maré é denominado marégrafo, de acordo com IOC (*Intergovernmental Oceanographic Commission*) (2002), os principais tipos de marégrafos são:

- Acústico, que funciona a partir do tempo em que o pulso acústico propagado no ar leva para refletir na superfície do mar e voltar ao equipamento.
- Flutuador ou limnígrafo, que tem como princípio de funcionamento mecânico do tipo boia-e-contrapeso, no qual as oscilações do nível da água causam movimentos verticais no sistema de contrapeso que são identificadas pelo sensor.
- Pressão, que são submersos na água e registram a variação da pressão da coluna d'água sobre o sensor, conforme a variação de nível da superfície.
- Radar, que se diferem do acústico apenas pelo pulso de radar gerado e também pela sensibilidade das variações climática, principalmente com a formação de nuvens.

2.12 GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)

Os equipamentos rastreados por satélites são baseados no GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema de Navegação Global por Satélite). Atualmente o GNSS possui as constelações de satélites operacionais, a GPS dos Estados Unidos (Figura 10) e GLONASS, da Rússia (Figura 11), o que possibilita a integração destes sistemas no posicionamento geodésico. A integração de dados GPS/GLONASS fornece melhor geometria e maior confiabilidade na estimativa dos parâmetros envolvidos. (Manual IBGE-PPP, 2017).

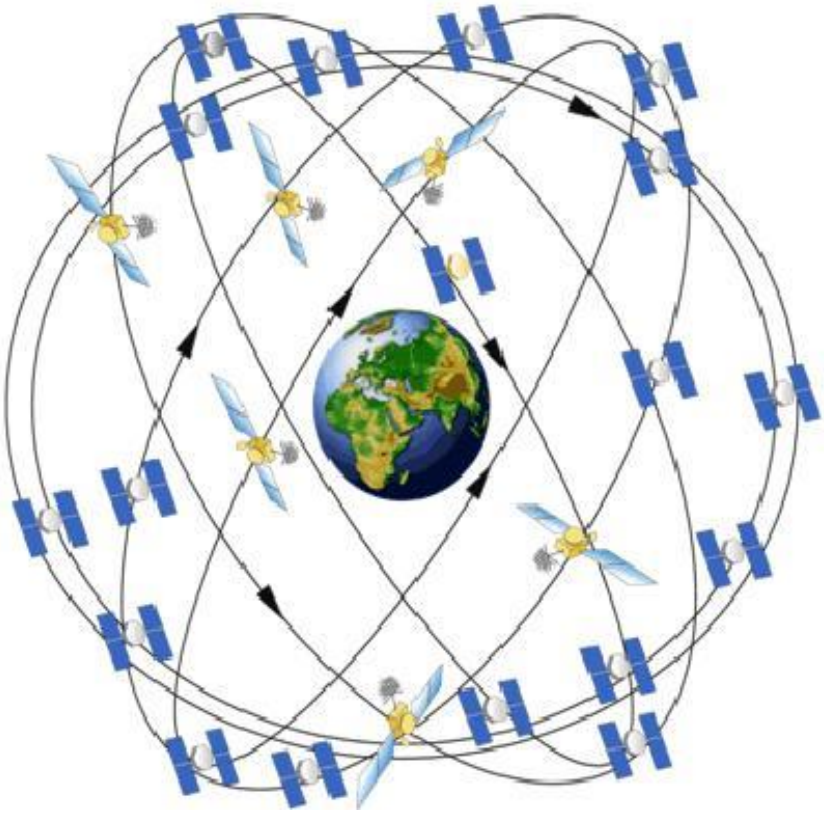

Figura 10- Constelação e satélites da rede GPS. Fonte: nasa.gov.

Figura 11- Constelação de satélites da rede GLONASS. Fonte: glonass-iac.ru/en/.

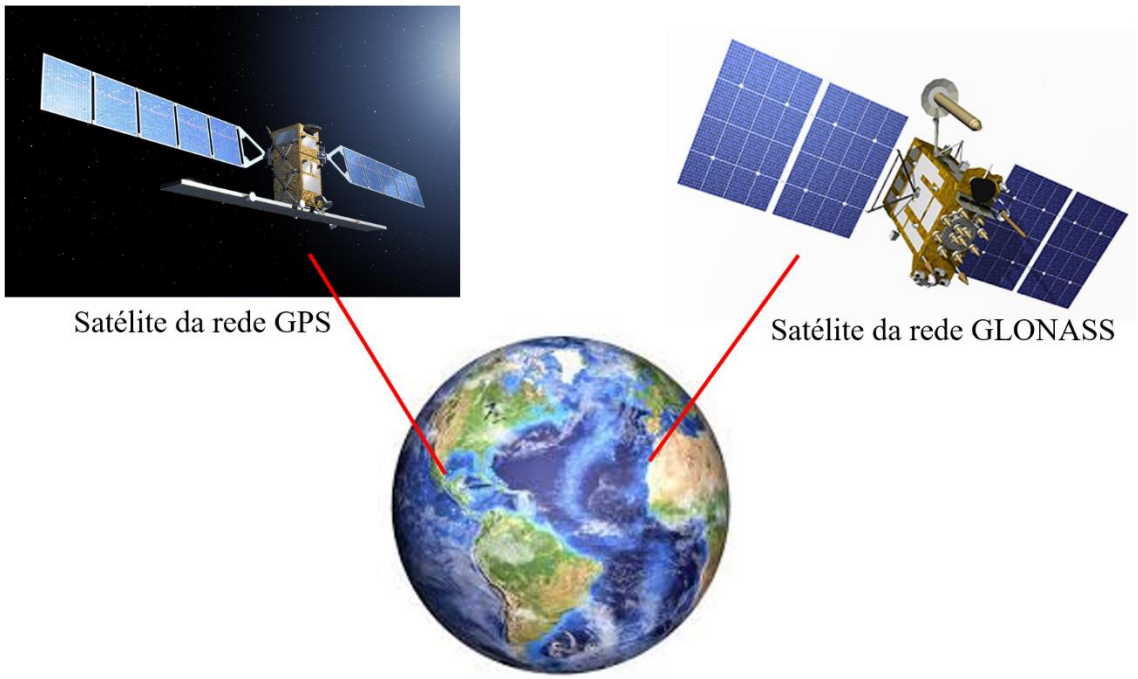

Figura 12- Satélites do Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS). Fonte: Editado de nasa.gov, glonass-iac.ru/en/.

2.13 TÉCNICA RTG (*REAL TIME* GIPSY)

A técnica utilizada neste estudo é a RTG. Essa técnica é incorporada por alguns serviços comerciais WADGPS (*Wide-Area* DGPS), que promovem a correção diferencial global GPS (GDGPS - *Global Differencial* GPS). A tecnologia GDGPS foi financiada pelo NASA's Earth Science Technology Office e desenvolvida pelo JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) em apoio a missões científicas, em qualquer parte do planeta, que necessitavam de posicionamento em tempo real com acurácias compatíveis com as obtidas em métodos pós-processados.

O sistema RTG consiste em um receptor GPS que recebe duas frequências de sinais para gerar a posição do globo em que está. A primeira frequência recebia é oriunda das constelações de satélites, já a segunda é proveniente de uma antena previamente instalada em terra, seu referencial fixo, que corrige os dados de altitude recebidos pelos satélites (Figura 13). Com a as duas constelações de satélites integradas juntamente com a correção feita pelo seu referencial fixo, a posição torna-se precisa, com uma margem, aproximada, de 10 cm de erro (Ramos 2007).

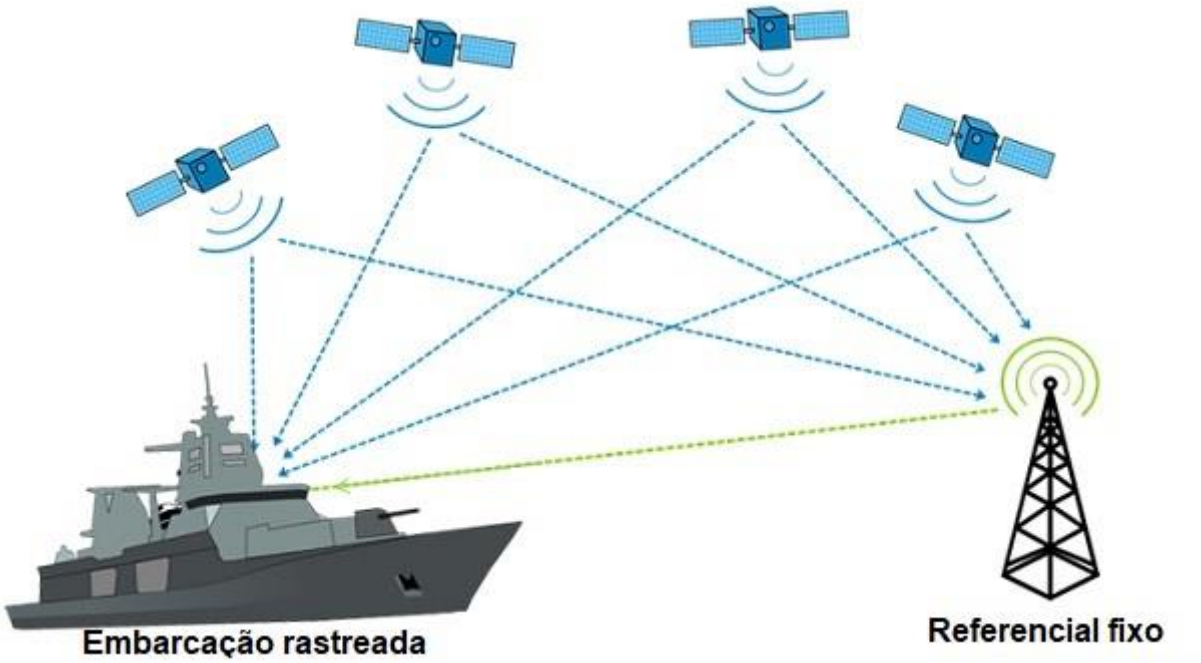

Figura 13- Ilustração da técnica RTG. Fonte: Editado de techdifferences.comdifference-between-gps-and-dgps.html.

2.14 DATUM ALTIMÉTRICO HIDROGRÁFICO

O datum altimétrico hidrográfico é uma profundidade adquirida através da combinação de constantes harmônicas definidas através da análise de uma série temporal de observações, coletadas a partir de uma estação maregráfica na costa. Essas profundidades são referidas a um nível básico, denominado Datum da Carta ou Nível de Redução (NR). A NR é obtida em função das características locais, que podem gerar alterações sazonais, mensais ou diárias no nível do mar, em virtude de efeitos meteorológicos, hidrológicos ou oceanográficos, tectônicos ou astronômicos, sendo esse último o mais significativo (Ramos 2007).

2.15 PPP (POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO)

O IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) é um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*), que faz uso do programa CSRS-PPP (*GPS Precise Point Positioning*) desenvolvido pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*). Ele permite aos usuários com receptores GPS e/ou GLONASS, obterem coordenadas referenciadas ao SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e ao ITRF (*International Terrestrial Reference*

Frame) através de um processamento preciso. O IBGE-PPP processa dados GNSS (GPS e GLONASS) que foram coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático (Manual IBGE-PPP 2017).

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e comparar a acurácia e precisão do método de maregrafia por rastreio DGPS em relação ao marégrafo digital do tipo boia-contrapeso.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a variação vertical no nível médio da água causada pela maré por meio medições de marégrafos digitais do tipo boia-e-contrapeso em 2011 e 2017;
- Determinar a variação vertical no nível médio da água causada pela maré por meio medições de embarcações rastreadas por DGPS utilizadas nas missões realizadas em 2011 e 2017;
- Comparar os dados de maré obtidos no ano de 2011, onde os fundeios rastreados se apresentavam distantes dos marégrafos digitais;
- Comparar os dados de maré coletados no ano de 2017, no qual o fundeio se apresentava próximo do marégrafo digital;
- Verificar em qual situação os equipamentos obtiveram uma maior acurácia e precisão na comparação dos dados.

4 ÁREA DE ESTUDO

A Ilha dos Guarás está inserida na costa atlântica do salgado paraense, localizada no nordeste do Pará, banhada pelo Rio Pará e pelo Oceano Atlântico, localizada nas coordenadas geográficas de latitude - 0°35'12.72" e longitude - 47°54'14.16" (Figura 14). É importante ressaltar que a ilha dos Guarás foi apenas um laboratório de estudo, pois a metodologia apresentada nesse trabalho pode ser aplicada em outros lugares que haja a influência da maré.

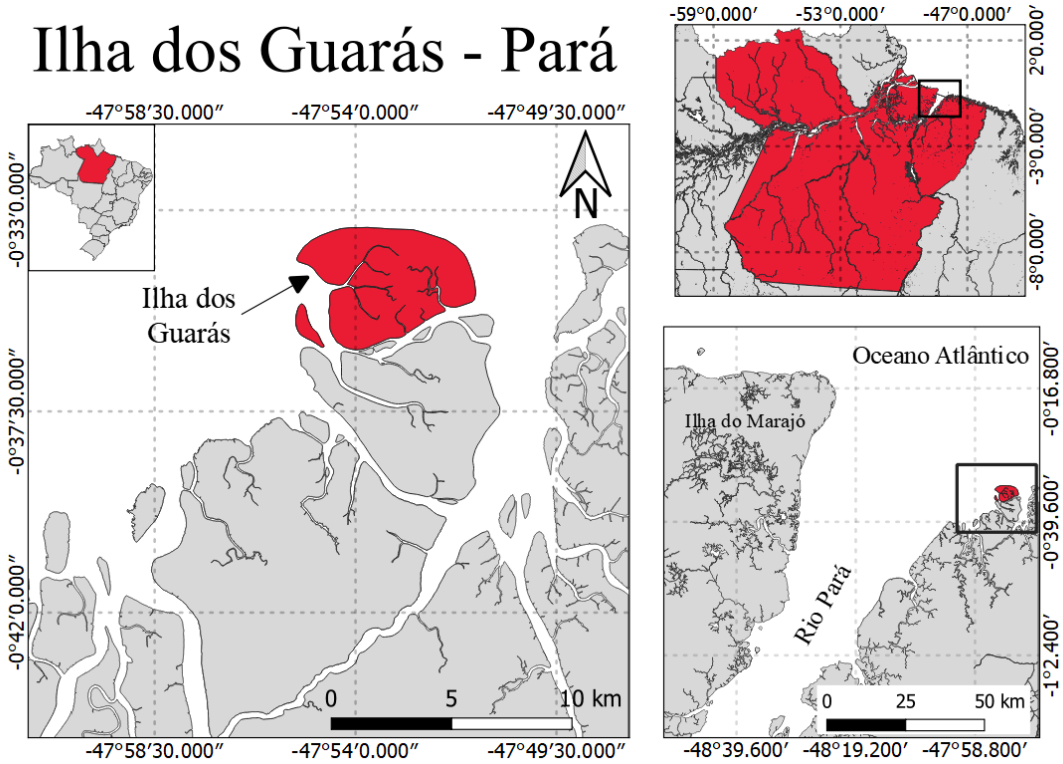

Figura 14- Mapa da localização da Ilha dos Guarás – PA.

4.1 GEOLOGIA

A região onde está inserida a Ilha dos Guarás foi formada durante o Período Neogeno, cerca de dois milhões de anos atrás, o que é considerado recente na escala de tempo geológico. Durante esse período, tiveram duas épocas para a formação dessa região, a Época do Holoceno (recente) e a Época do Pleistoceno (antiga) (MMA 2014).

O Holoceno foi marcado pelos depósitos de pântanos e mangues, formados pelos sedimentos argilosos, siltosos, matéria orgânica, madeira e conchas, que representa 73% da

região. Já o Pleistoceno foi responsável pela formação da camada detrito-laterítica, que possui sedimentos argilosos, arenosos e caoliníticos, que compõe 27% da área (MMA 2014).

4.2 CLIMA

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é equatorial amazônico do tipo Am1. A região apresenta uma elevada precipitação média anual de precipitação, superior a 3.000 mm, e de temperatura, cerca de 27°C (Martorano 1993).

A região possui uma variação sazonal dividida em dois períodos, a estação chuvosa, pertencente ao período de dezembro a maio, e a estação seca, que compreende dos meses de junho a novembro. Durante a estação chuvosa, a região possui uma média de precipitação anual de 1594 mm, já na estação seca, a média de precipitação anual é de 506 mm (Moraes *et al.* 2005).

4.3 HIDROGRAFIA

A Ilha dos Guarás é banhada pela foz do Rio Pará, que tem suas principais fontes de água doce a bacia hidrográfica do rio Tocantins e Araguaia, contendo mais de 900.000 m³ de área, e também pelo Oceano Atlântico Sul (MMA 2014). Por estar em uma zona de mistura entre a água doce do Rio Pará e salgada do Oceano Atlântico, a salinidade da água local está sujeita a variações.

4.4 SALINIDADE

A salinidade do estuário do rio Pará está intimamente relacionada com o regime de maré (enchente e vazante) e a descarga fluvial local. No período chuvoso, devido as elevadas precipitações, ocorre uma elevada descarga fluvial, fazendo com que ocorra uma menor intrusão de água salgada no estuário. No período seco tem-se uma baixa descarga fluvial, essa situação permite com que a água marinha adentre no estuário, elevando, dessa forma, a intrusão salina (Miranda *et al*. 2002, Rosário 2016).

4.5 FAUNA E FLORA

A Ilha dos Guarás está inserida no macrossistema de manguezais do nordeste paraense, e se apresenta em um bom estado de conservação, tendo assim, praticamente toda sua área coberta por floresta de manguezal. Os manguezais são conhecidos como berçários, pelo fato de abrigar e fazer parte de muitas espécies, muitas de grande importância econômica (Almeida & Silva 2012).

A região possui uma grande influência na pesca local, por fazer parte do ciclo reprodutivo de diversas espécies de peixes importantes para a gastronomia e pesca esportiva, como a pescada amarela, robalo, mero, eg. Há também os crustáceos importantes gastronomicamente, como o camarão e o caranguejo uçá. As aves marinhas, sendo as gaivotas, garças e os guarás, algumas das espécies que abrigam a região.

4.6 IMPORTÂNCIA SOCIAL

A descarga fluvial e a água do mar fazem com que os estuários se tornem ricos em nutrientes, desempenhando um desenvolvimento social nessas regiões. Os ambientes estuarinos são foco de ocupação urbana, cerca de 60% dos aglomerados urbanos brasileiros estão situados próximos aos estuários. O homem se instala nesses locais visando principalmente os recursos naturais que estão ligados a água.

Contudo, a ocupação urbana desenfreada não é saudável para esse ambiente, pois acompanha o aterramento de manguezais para a criação de estruturas (casas, hidrelétricas, portos, eg.), despejo de agrotóxicos, efluentes urbanos e lixo, dentre outros que prejudicam a qualidade da água (Miranda *et al*. 2002).

Assim como em todo o mundo, esse descaso também ocorre no estuário do rio Pará, onde a população que vivem nessa região jogam esgoto e lixo (principalmente resíduos plásticos) nas águas estuarinas, sem saber que esse ato irá prejudica-los no futuro. Com ajuda do Estado, esse problema pode ser resolvido a partir da criação de estações de tratamento de esgoto e principalmente com o fornecimento de educação ambiental. A população educada ambientalmente é a chave para cessar os impactos causados nos estuários.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Os dados utilizados para a realização do presente estudo foram cedidos pela Marinha do Brasil (MB), Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4). Os rastreios por GPS foram realizados para alimentar o Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) e estão disponíveis no GOOS-Brasil (Sistema nacional de observação dos oceanos), que é responsável por gerir os dados oceanográficos da costa brasileira.

Para a coleta dos dados foram utilizados dois tipos de equipamento, os marégrafos digitais, para a coleta de dados de maré em uma estação fixa/estação maregráficas, e o DGPS para a coleta de dados de maré em uma embarcação. O trabalho compõe duas coletas distintas de aquisição de dados, sendo a primeira ocorrida em 2011, no qual os equipamentos estavam distantes um dos outros, e a segunda ocorrida em 2017, onde os equipamentos estavam próximos um do outro.

5.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

5.2.1 Marégrafo digital do tipo boia-contrapeso

Os dados de maré foram coletados com auxílio de um sensor de nível digital, modelo Thalimedes®, um dos equipamentos mais utilizados para a medição da maré no Brasil, que tem como princípio de funcionamento mecânico do tipo boia-contrapeso. Esse sistema possui um flutuador ligado a um contrapeso através de um sensor, que registra as oscilações do nível da água (superfície livre) que causam movimentos verticais no sistema de contrapeso. O sensor tem uma resolução de até 0,001 metros. O equipamento registra tais oscilações promovidas pela maré e tem uma memória interna capaz de armazenar até 30.000 dados (Figura 15).

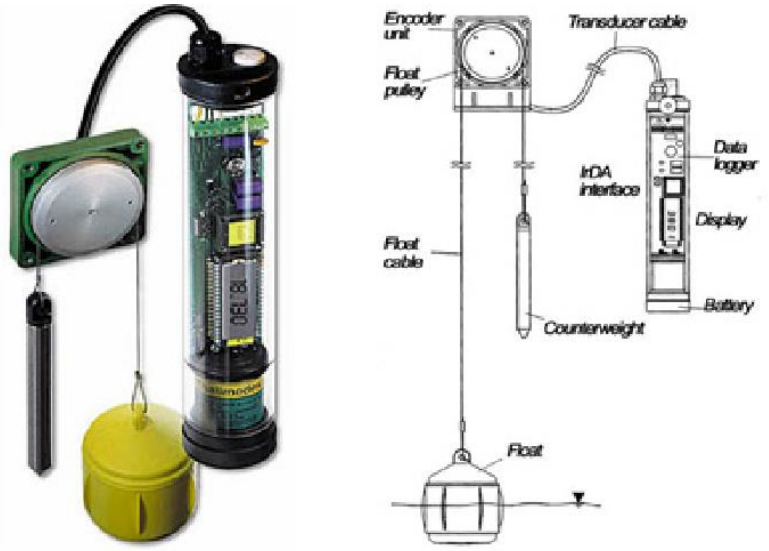

Figura 15- Marégrafo digital modelo Thalimedes® (OTT Hydrometry®). Fonte: Jang, Min-Won *et al*. 2015.

5.2.2 Rastreador GPS de dupla frequência

Nas embarcações fundeadas, os dados de maré foram obtidos por receptores GPS de dupla frequência modelo Novatel DL-V3 (Figura 16), que obtém oscilação do nível d'água a partir da variação da altitude elipsoidal da embarcação, que é altura entre o elipsoide do planeta e o receptor, que muda conforme a variação da superfície livre (Figura 17). A posição é corrigida a partir de duas fontes: constelações de satélites (GPS e GLONASS) e da antena previamente instalada em terra. O equipamento possui memória removível, o que facilita o *download* dos dados.

Figura 16- Rastreador Novatel DL-V3. Fonte: GeoNav satellite systems.

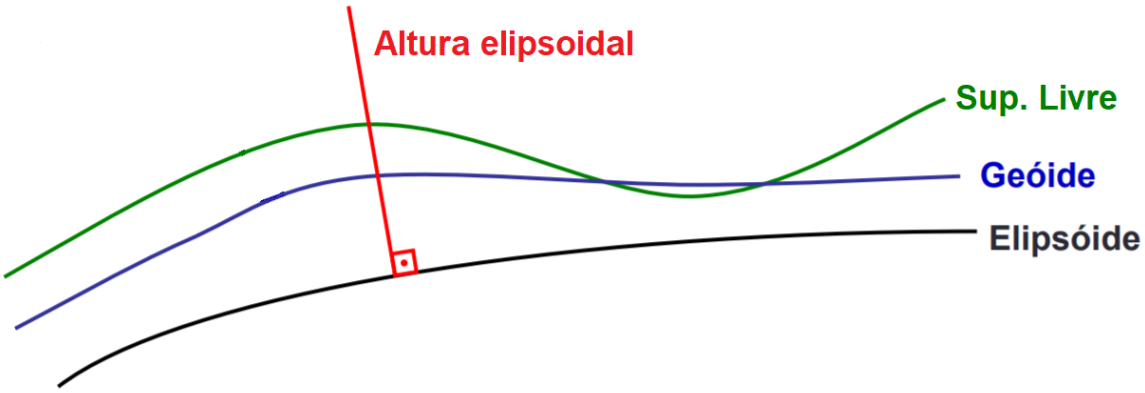

Figura 17- Altura elipsoidal. Fonte: Editado de Vaz 2015.

5.3 COLETA DOS DADOS DE 2011

Para a completude das coletas realizadas em 2011 foram utilizadas duas estações maregráficas, ambas equipadas com marégrafos digitais, e três embarcações com rastreadores GPS (Figura 18). A partir dos níveis de referência (RN) existentes no local a equipe da MB encontrou o datum altimétrico da região para então calibrar os equipamentos a serem utilizados. A distância de fundeio de cada embarcação em relação aos marégrafos está descrito na Tabela 1. O período de amostragem de todos os equipamentos ocorreu entre o dia 05/04/2011, as 00 horas, até o dia 08/04/2011, as 08 horas, durante o período chuvoso e uma maré de sizígia. Todos foram programados para obter dados em uma frequência de um minuto.

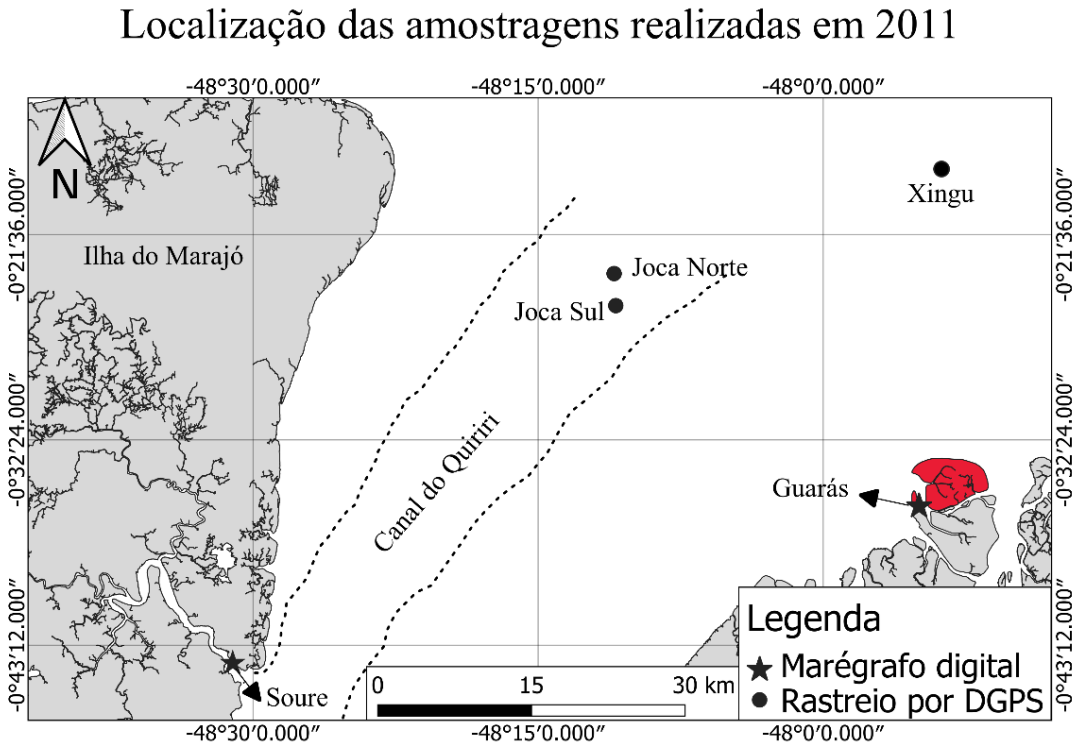

Figura 18- Mapa da localização das estações maregráficas e dos fundeio das embarcações realizados em 2011.

Tabela 1- Distância de cada fundeio em relação as estações maregráficas.

EMBARCAÇÕES	**ESTAÇÕES**	
	SOURE	**GUARÁS**
JOCA NORTE	54 km	37 km
JOCA SUL	52 km	35 km
XINGU	84 km	32 km

Figura 19- Estação maregráfica da cidade de Soure – PA. Fonte: Florentino & Gregorio 2011.

Figura 20- Estação maregráfica da Ilha dos Guarás. Fonte: Florentino & Gregorio 2011.

5.4 COLETAS DE DADOS DE 2017

Na missão realizada no ano de 2017 foram utilizados um marégrafo digital e um rastreador GPS. O marégrafo digital foi instalado na Cidade de Abáde - PA. Já o rastreador GPS foi instalado na embarcação Vega, fundeada nas proximidades da Ilha dos Guarás, cerca de 12 km de distância (Figura 21). O período de amostragem dos dois equipamentos ocorreu entre o dia 20/08/2017, as 08 horas, até o dia 23/08/2017, as 06 horas, durante o período seco e uma maré de sizígia. Ambos foram programados para obter dados em uma frequência de um minuto.

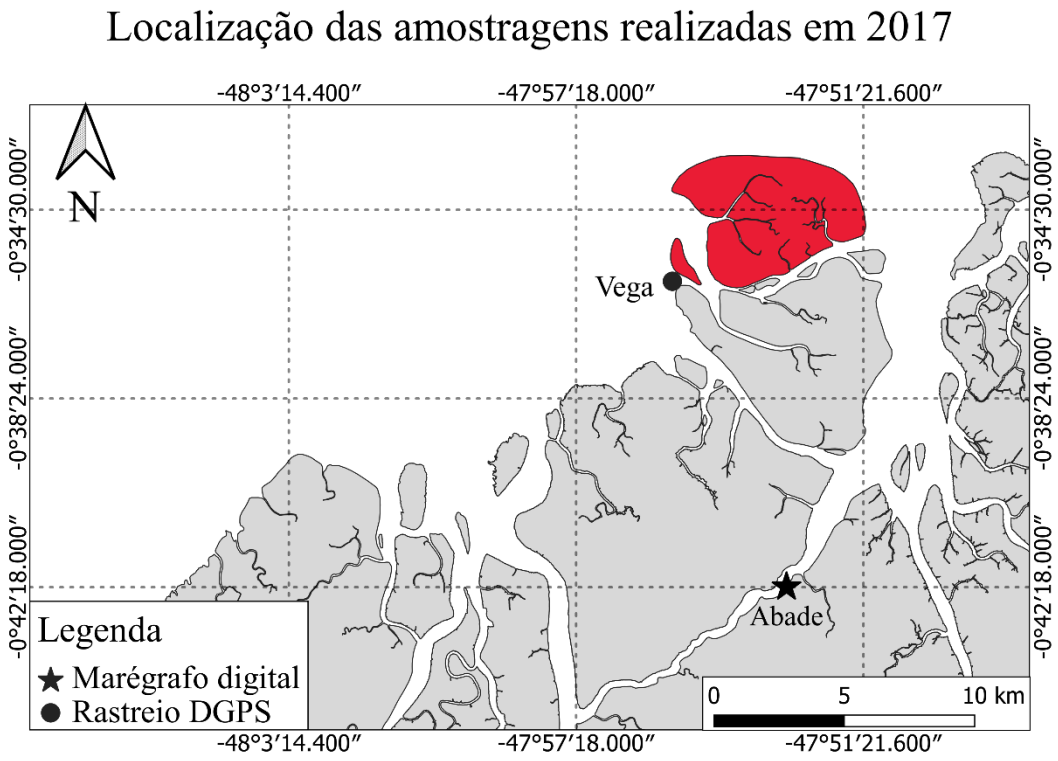

Figura 21- Mapa da localização da base maregráfica de Abade e do fundeio da embarcação Vega.

Figura 22- Fotografia da lancha balizadora Vega. Fonte: Gregorio & Viera 2016.

Figura 23- Fotografia da régua hidrográfica e do tubo no qual estava instalado o marégrafo digital em Abade – PA. Fonte: Gregorio & Viera 2016.

5.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

5.5.1 Conversão para Rinex

Em geral, as empresas que produzem equipamentos que coletam dados, não possuem um padrão de formato de arquivos, fazendo com que os equipamentos tenham formatos diferentes um dos outros. Por isso, houve a necessidade de conversão do arquivo gerado pelo DGPS para o formato RINEX, que é feito no programa GRAFNAV/GRAFNET versão 8.30, da empresa WayPoint Products Group®. Com a conversão feita, foi dado prosseguimento ao processamento.

5.5.2 Plataforma IBGE – PPP (Posicionamento por Ponto Preciso)

Um dos formatos aceitos pela plataforma IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), é o RINEX, tornado possível o processamento preciso dos dados dos rastreios e dos marégrafos, correlacionando-os com o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). Além disso, a plataforma permite que o usuário escolha entre uma coleta de dados estática ou cinemática, que no caso da última, promove uma correção de qualquer perturbação que a embarcação de rastreio possa ter sofrido, como fortes ventos, arrastos, sendo essas as principais perturbações (Figura 24).

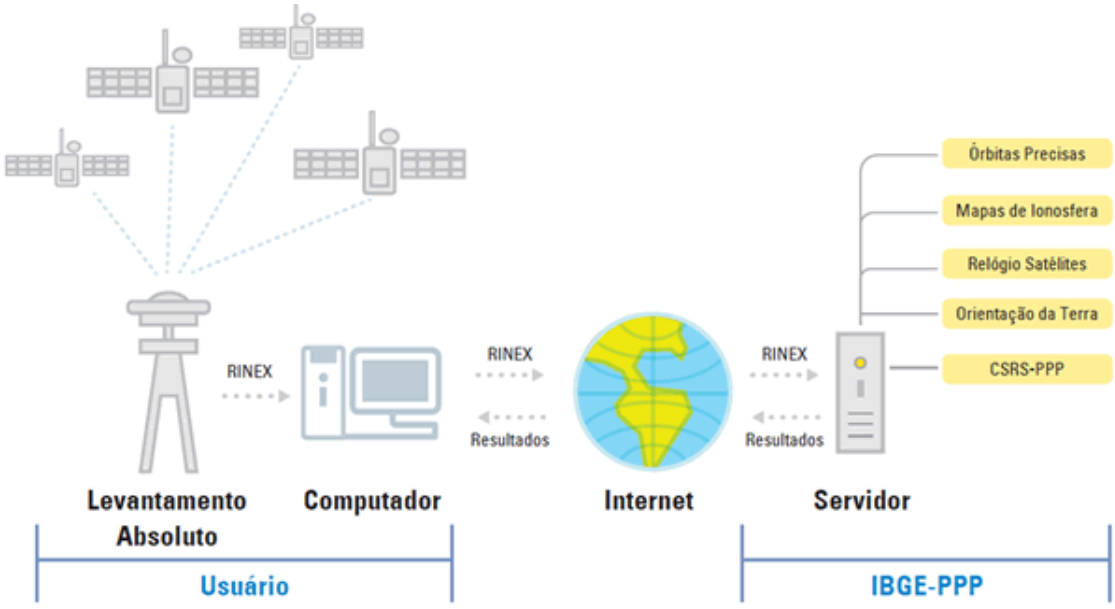

Figura 24- Processo para o processamento por ponto preciso (PPP). Fonte: ibge.gov.br.

```
Project:     Rastreio vega2
Program:     GrafNav Version 8.30.0623
Profile:     Geographic
Source:      GPS Epochs(Combined)
ProcessInfo: Run (3) by Unknown on 09/13/2017 at 10:49:38

Datum:       WGS84, (processing datum)
Master 1:    Name 00150040, Status ENABLED
             Antenna height 1.361 m, to L1-PC (NOV702L_1.01, MeasDist 1.280 m to mark/ARP)
             Position -0 42 17.69946, -47 52 56.26744, -19.637 m (WGS84, Ellipsoidal hgt)
Remote:      Antenna height 2.081 m, to L1-PC (NOV702L_1.01, MeasDist 2.000 m to mark/ARP)
Local time:  -3.0 h, ADT [Atlantic Daylight Time]
SD/Covariance Scaling Settings:
  Position: Scaling estimated SDs by 2.4479 using confidence level 95.0 %
  Velocity: Scaling estimated SDs by 2.4479 using confidence level 95.0 %
  Increase SD on kinematic float: No
```

Station	LocalDate (YMD)	LocalTime (HMS)	GPSTime (sec)	Latitude (+/-D M S)	Longitude (+/-D M S)	H-Ell (m)	SDHori (m)	SDHeig (m)	Q
546-K	2017/08/20	8:50:00.00	42600.00	-0 35 52.75152	-47 55 15.80003	-21.865	1.682	1.460	5
547-K	2017/08/20	8:51:00.00	42660.00	-0 35 52.80389	-47 55 15.90938	-21.916	2.436	2.001	4
548-K	2017/08/20	8:52:00.00	42720.00	-0 35 52.79667	-47 55 15.90392	-22.028	2.129	2.312	5
549-K	2017/08/20	8:53:00.00	42780.00	-0 35 52.86265	-47 55 15.98953	-22.273	2.355	2.447	5
550-K	2017/08/20	8:54:00.00	42840.00	-0 35 52.88852	-47 55 16.02011	-21.743	2.496	2.706	6
551-K	2017/08/20	8:55:00.00	42900.00	-0 35 52.88800	-47 55 16.01156	-21.994	2.591	2.846	6
552-K	2017/08/20	8:56:00.00	42960.00	-0 35 52.87928	-47 55 16.01519	-22.281	2.687	2.926	5
553-K	2017/08/20	8:57:00.00	43020.00	-0 35 52.82956	-47 55 15.93988	-22.029	2.750	2.953	6
554-K	2017/08/20	8:58:00.00	43080.00	-0 35 52.79858	-47 55 15.92521	-22.089	2.806	2.964	5
555-K	2017/08/20	8:59:00.00	43140.00	-0 35 52.74370	-47 55 15.85921	-22.160	2.870	2.941	5
556-K	2017/08/20	9:00:00.00	43200.00	-0 35 52.77187	-47 55 15.91054	-22.719	2.812	2.836	6
557-K	2017/08/20	9:01:00.00	43260.00	-0 35 52.80873	-47 55 15.93406	-22.596	2.780	2.716	6
558-K	2017/08/20	9:02:00.00	43320.00	-0 35 52.74891	-47 55 15.86405	-22.155	2.696	2.562	6
559-K	2017/08/20	9:03:00.00	43380.00	-0 35 52.70849	-47 55 15.77893	-22.105	2.662	2.414	5
560-K	2017/08/20	9:04:00.00	43440.00	-0 35 52.65764	-47 55 15.66665	-22.411	2.578	2.241	5

Figura 25- Resultado do processamento por ponto preciso da plataforma IBGE-PPP.

Com os dados dos marégrafos digitais e dos rastreadores GPS pós-processados, os mesmos foram retrabalhados através de programas de linguagem matemática. Os programas de linguagem matemática auxiliam no refinamento dos dados, que facilitam a análise dos dados, por possuírem diversas ferramentas para isso, como por exemplo:

- Filtro passa baixa, que removem ruídos e valores extremos não representativos da onda de maré, gerados por outras perturbações, como as ondas geradas pelo vento;
- Interpolação, responsável por preencher lacunas de dados, gerados por possíveis falhas dos equipamentos, além de promover manipulações na frequência dos dados;
- Defasagem, que remove a defasagem entre duas ondas de maré através de um ajuste no tempo das coletas, possibilitando a comparação entre as mesmas.

5.5.3 Processamento dos dados de 2011

Os rastreios realizados em 2011 tiveram uma frequência amostral de 1 min. Por esse motivo, percebemos ruídos causados por ondas de alta frequência, que obstruem a visão da onda de maré, uma onda de baixa frequência (Figura 26). Para a melhor visualização da onda de maré, os rastreios foram interpolados e filtrados. Após a interpolação, que transformou o dado de rastreio para uma frequência amostral de 10 min, e a aplicação filtro passa baixa, com frequência de corte de 59, é notável a visualização da onda de maré (Figura 27).

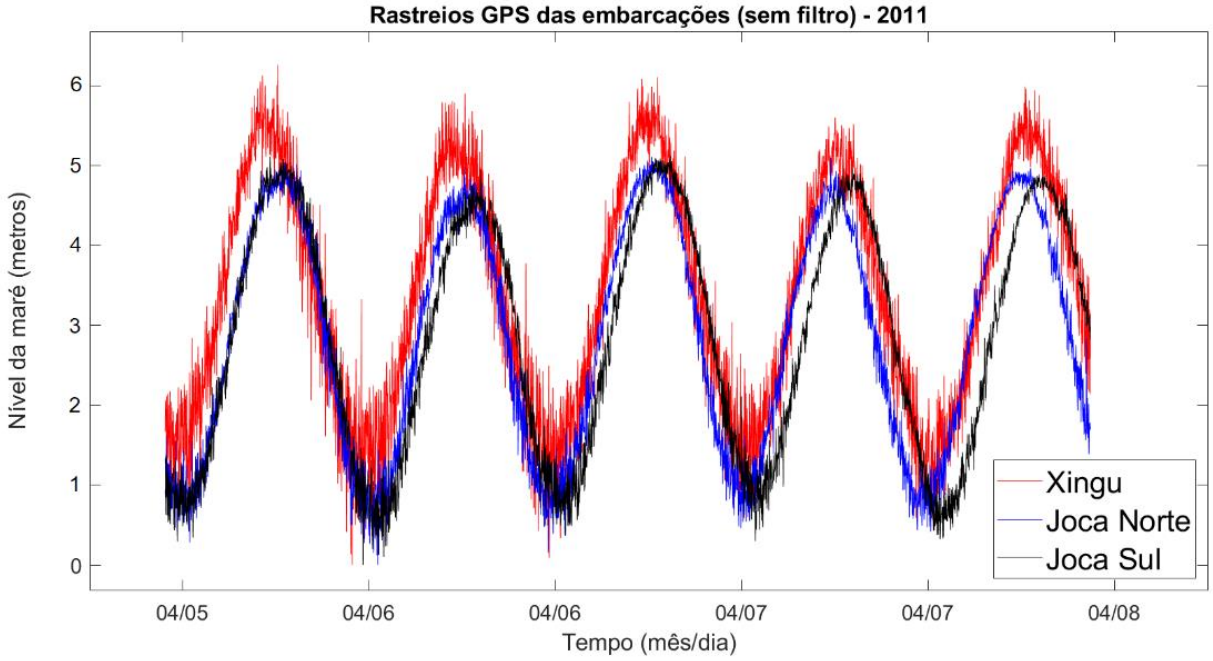

Figura 26- Rastreios de 1 em 1 min das embarcações fundeadas em 2011, sem interpolação e filtro.

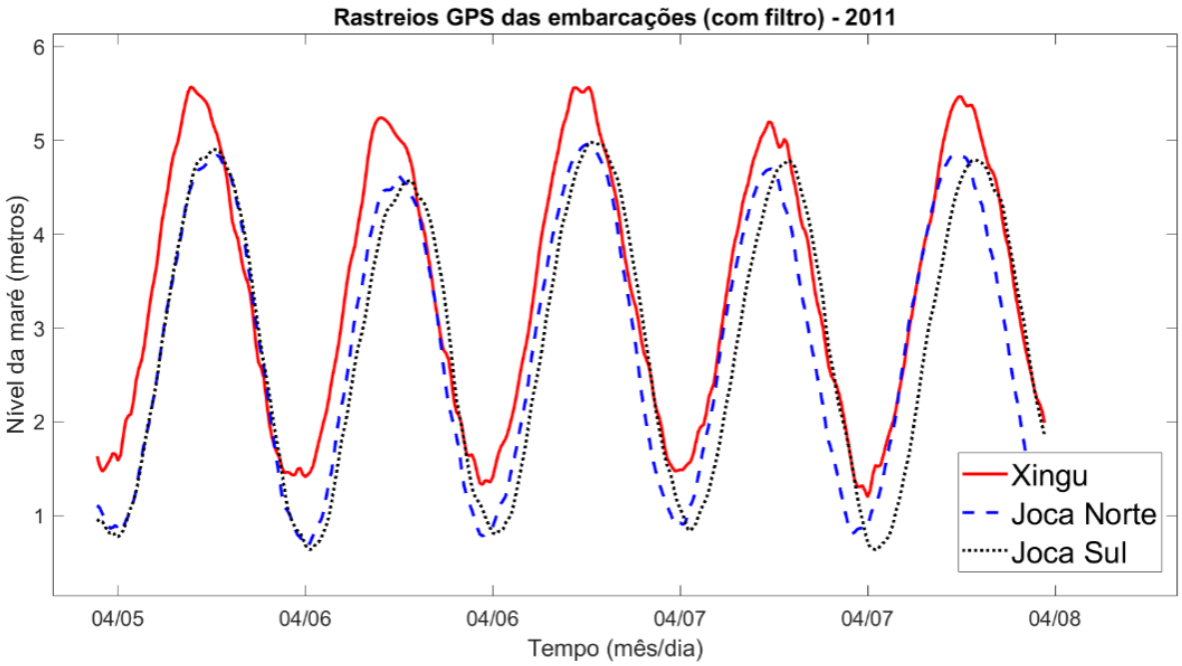

Figura 27- Rastreio de 10 em 10 min das embarcações fundeadas em 2011, interpoladas e com a utilização de filtro passa baixa.

Devido à distância dos pontos de coleta de dados entre os marégrafos e as embarcações e o tempo de propagação da onda, a maré identificada pelos equipamentos apresentou-se fora de fase. (Figura 28). Com isso, a defasagem da onda de maré tornou-se um procedimento imprescindível para a realização desse estudo. A defasagem feita nos dados coletados em 2011 foi de duas horas. Com os dados defasados, filtrados e interpolados, foi possível analisar os dados de onda de maré entre os rastreios e os marégrafos (Figura 29).

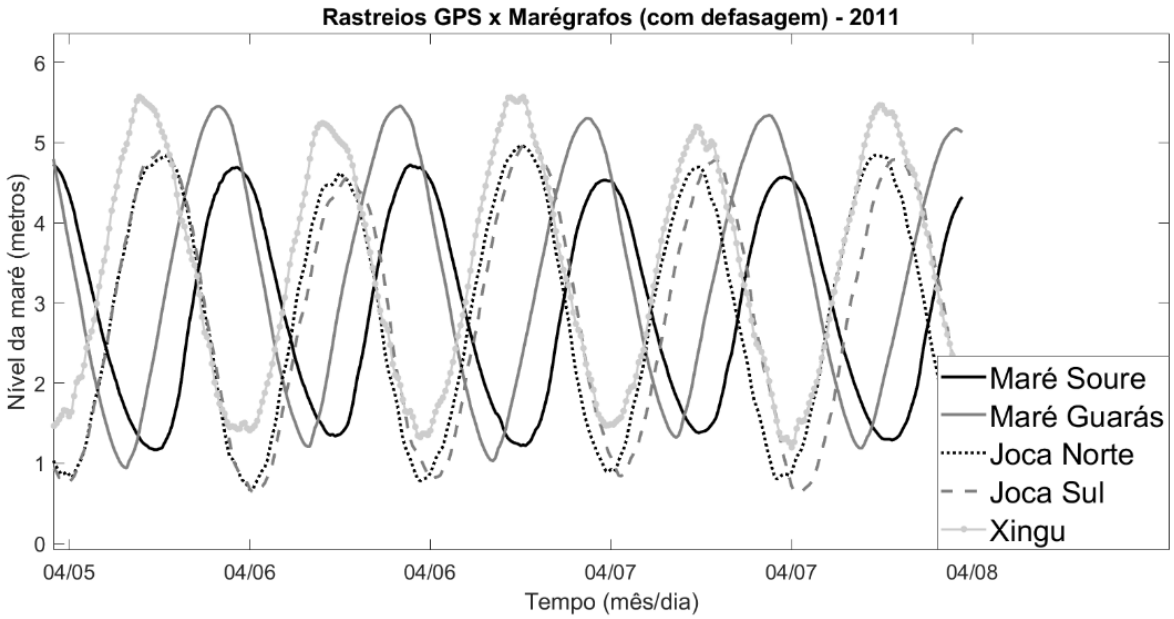

Figura 28- Dados dos marégrafos digitais e dos rastreios GPS sem correção de defasagem.

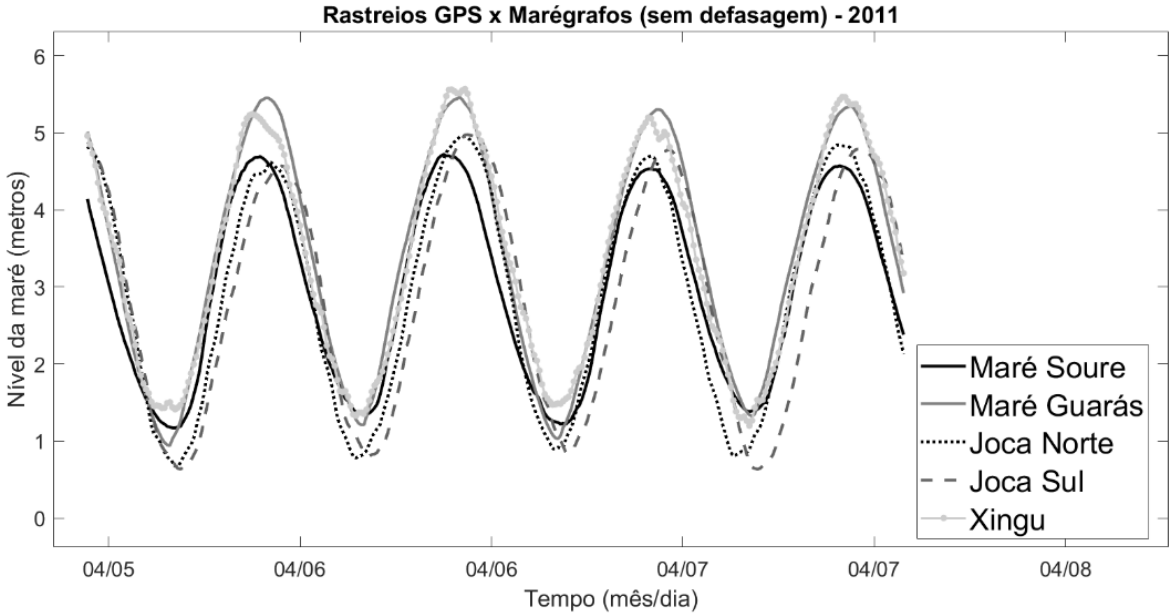

Figura 29- Dados dos marégrafos digitais e dos rastreios GPS com defasagem corrigida.

5.5.4 Processamento dos dados de 2017

Os dados obtidos no ano de 2017 apresentaram duas falhas por parte dos equipamentos. Foram observadas a falta de dados do rastreio GPS e o marégrafo, durante parte do dia 22, além dos elevados ruídos do rastreio GPS, causados por ondas de alta frequência (Figura 30).

Para contornar tais problemas, primeiro foi feita a interpolação, que corrigiu as lacunas de dados do rastreio, assim como transformou os dados em uma frequência amostral de 10 min, da mesma forma que foi feito em 2011. O segundo procedimento feito foi a utilização de filtros passa baixa, novamente com a frequência de corte de 59 (Figura 31).

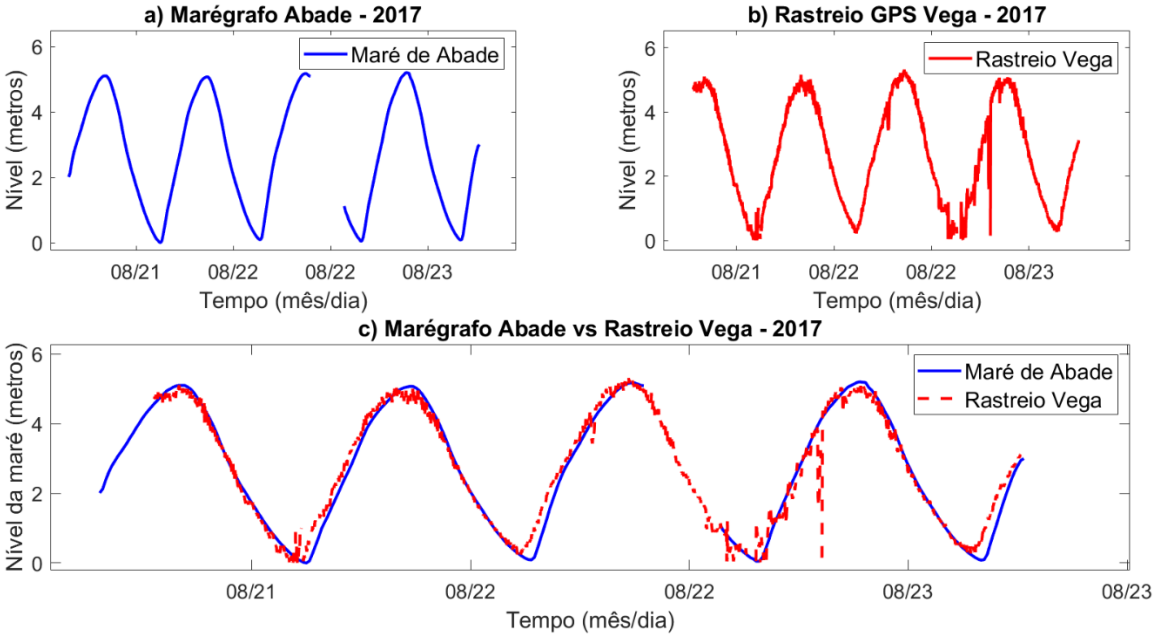

Figura 30- Maré encontrada pelo rastreio por GPS e pelo marégrafo digital em 2017, sem tratamento de filtro passa baixa e interpolação.

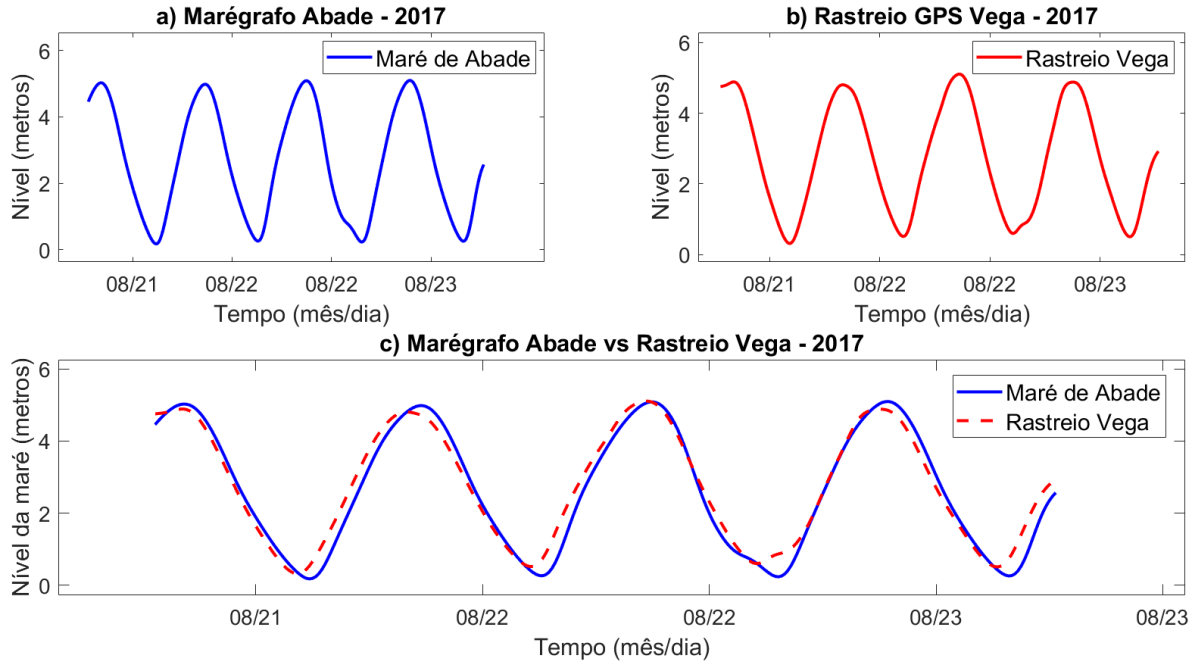

Figura 31- Maré encontrada pelo rastreio por GPS e pelo marégrafo digital em 2017 interpolado.

Tomando como base o tratamento realizado nos dados de 2011, o terceiro procedimento a ser realizado seria a defasagem, porém não foi necessário, pois a maré coletada pelos equipamentos apresentou-se semelhante. Assim, os dados utilizados para as análises de regressão linear e ondeleta de coerência, tiveram como tratamento apenas a interpolação e o filtro passa baixa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 COLETAS DISTANTES

Para verificar a similaridade dos dados, os dois marégrafos digitais foram analisados individualmente com cada um dos rastreios das embarcações, sendo a primeira coluna a relação dos rastreios com o marégrafo de Soure e a segunda coluna a relação dos rastreios com o marégrafo de Guarás (Figura 32). Em geral podemos perceber que os dados de maré são visualmente muito semelhantes, devido à similaridade entre os dados coletados pelos rastreios GPS e pelo marégrafo. Tendo isso em vista, foram feitas regressões lineares e ondeletas de coerência na mesma orientação dos dados da Figura 32.

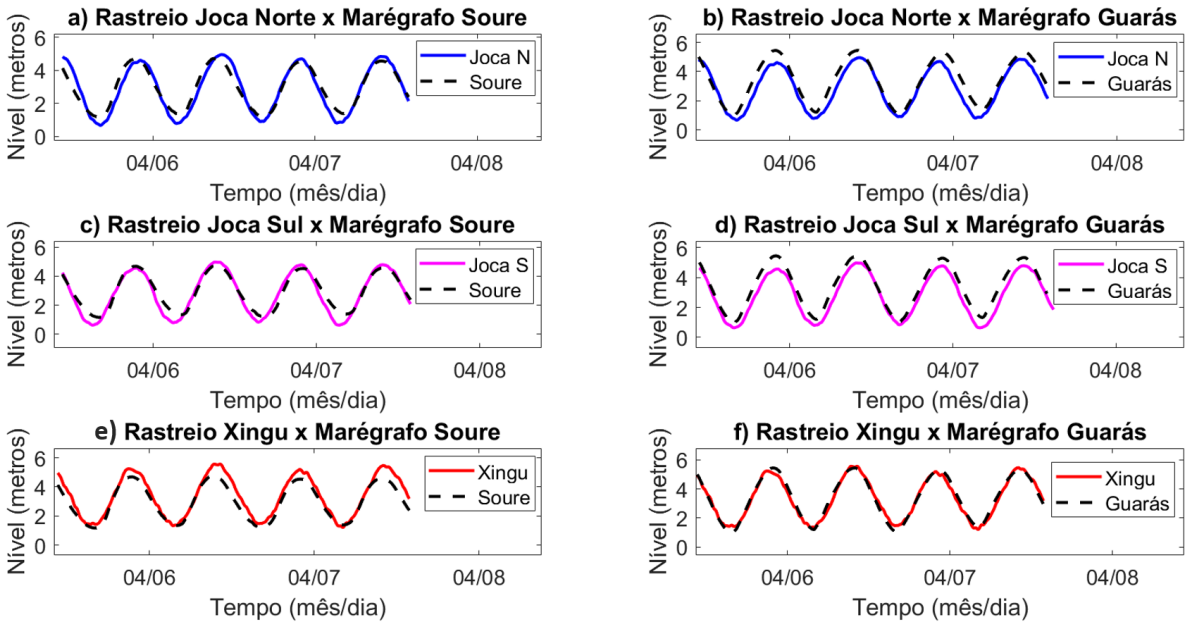

Figura 32- Gráficos da relação da maré obtida entre os rastreios GPS e os marégrafos digitais realizados em 2011. Os gráficos “a”, “c”, “e” os rastreios das três embarcações em relação ao marégrafo instalado em Soure e os gráficos “b”, “d”, “f” os rastreios das três embarcações em relação ao marégrafo instalado na Ilha dos Guarás.

6.1.1 Regressão linear

As regressões lineares foram feitas para comparar individualmente os marégrafos digitais com os rastreios GPS, com o intuito de analisar a correlação entre as marés obtidas. Na Figura 33 é possível notar que os pontos coincidentes dos gráficos se ajustam muito bem à reta, todos a um R-quadrado superior a 90%. O elevado ajuste dos pontos à

reta demonstra a forte acurácia dos dados dos rastreios por GPS correlacionados aos dados dos marégrafos.

De forma mais detalhada, pode-se notar que os dados de rastreio relacionados ao marégrafo de Soure são menos precisos que os dados em relação ao marégrafo da Ilha dos Guarás, devido os valores do R-quadrado serem menos elevados. Isso se dá pelo fato de os rastreios terem sido realizados mais próximos da base de Guarás, tendo dessa forma, uma maior correlação entre as marés.

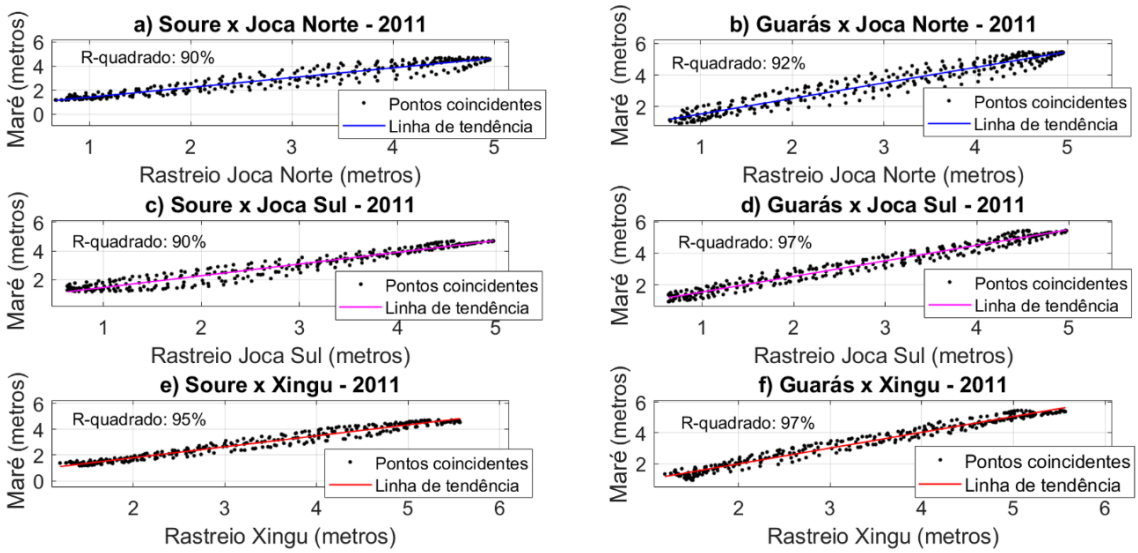

Figura 33- Regressão linear de cada rastreio em relação aos marégrafos digitais realizados em 2011.

Os gráficos “a”, “c”, “e” as regressões lineares entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado em Soure e os gráficos “b”, “d”, “f” as regressões lineares entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado na Ilha dos Guarás. A regressão linear apresenta a correlação entre duas variáveis independentes, para isso, é gerado um valor para apresentar o quanto as duas variáveis se ajustaram a reta/linha de tendência, o “R-quadrado”, sendo 100% para máxima e 0% para nenhuma correlação, além de nos apresentar graficamente tais resultados.

6.1.2 Ondeleta de coerência

Na Figura 34, pode-se perceber que todos os gráficos indicam elevados níveis de coerência no período de 0,5 (12 h). Isso significa que para intervalo de maré semidiurna - a maré da região de estudo – os dados obtidos pelo marégrafo digital são coerentes com os dados obtidos pelo rastreio por DGPS.

Já para os dados relacionados no período de 0,25 (6 h), podemos analisar que não há uma coerência elevada entre os dados, sendo menos coerentes ainda no período de 0,125 (3 h). Isso se dá pelo fato de o marégrafo digital ter uma menor coerência com o rastreio GPS quando correlacionados com dados coletados a uma grande distância um do outro, que no caso de 2011, todos os rastreios tiveram distâncias de 32 km a 84 km do marégrafo digital.

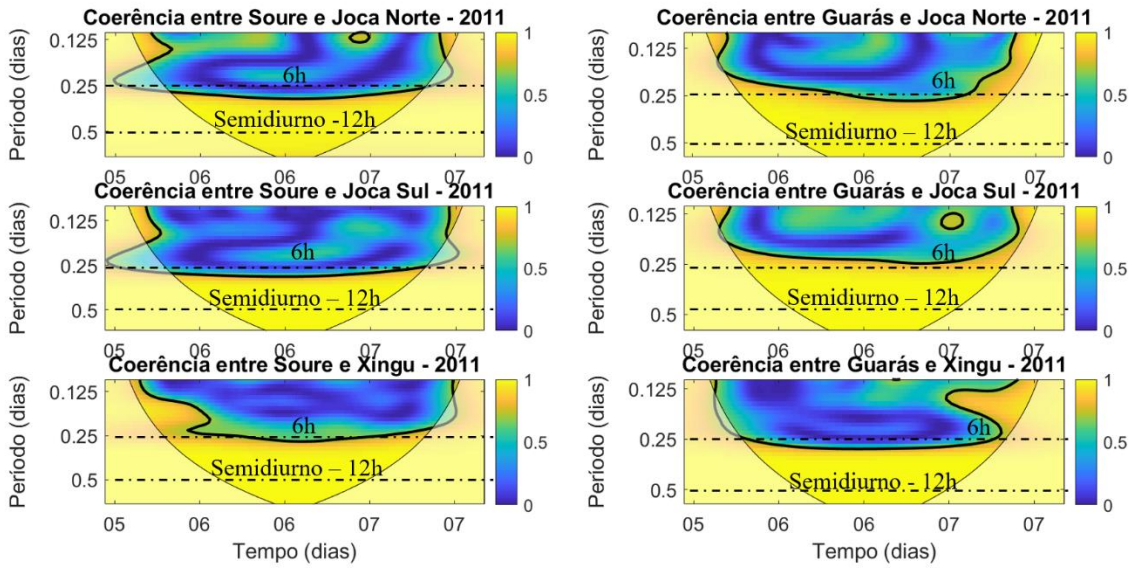

Figura 34- Ondeleta de coerência para cada rastreio em relação aos marégrafos digitais feitos em 2011. As figuras da coluna esquerda as ondeletas entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado em Soure e as Figuras da coluna esquerda as ondeletas entre os três rastreios em relação ao marégrafo instalado na Ilha dos Guarás, realizados em 2011. Os gráficos de ondeleta de coerência demonstram a coerência entre dois dados em um determinado período de tempo. A coerência é demonstrada em um gradiente de cor, onde a tonalidade amarela (1) indica o máximo de coerência e a tonalidade azul (0) indica nenhuma coerência. O eixo x é representado em dias e o eixo y representa o período também em dias, sendo em 0,125 o período de 3 h, em 0,25 o período de 6 h (maré sem desigualdade semidiurna) e em 0,5 o período de 12 h (maré semidiurna). Além disso os gráficos de ondeleta possuem um cone destacado, essa região da imagem representa o intervalo de maior confiança dos dados, sendo os dados que estão fora do cone de menor confiança.

6.2 COLETAS PRÓXIMAS

6.2.1 Regressão linear

Assim como no ano de 2011, também foi feita uma regressão linear para o ano de 2017, relacionando o dado de maré obtido pelo marégrafo digital de Abade com o rastreio GPS feito nas proximidades da Ilha dos Guarás. Na regressão linear podemos perceber a grande tendência dos pontos coincidentes se ajustarem à reta, que possui um R-quadrado de 97%, o que significa uma elevada correlação entre os dados coletados pelos equipamentos (Figura 35).

Essa elevada correlação foi obtida pelo fato de o rastreio GPS ter sido realizado a uma distância de apenas 12 km do marégrafo instalado em Abade. Devido a essa distância, a onda de maré não teve uma defasagem significativa, o que dispensou a utilização de métodos para reverter a diferença de fase, e mesmo assim, a correlação obtida entre a maré coletada pelo marégrafo e pelo rastreio GPS foi de 97%.

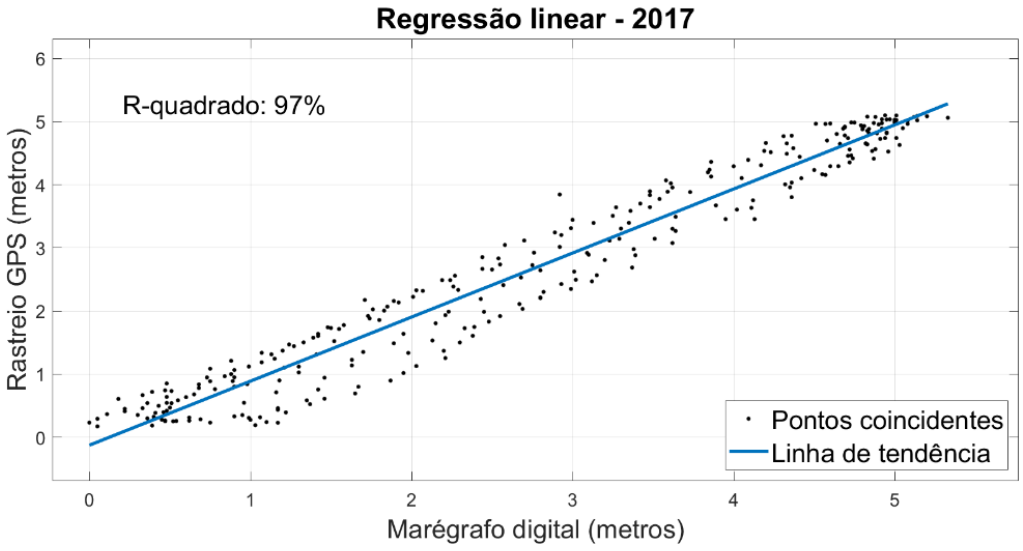

Figura 35- Regressão linear do rastreio por GPS realizado nas proximidades da Ilha dos Guarás em relação ao marégrafo digital instalado em na cidade de Abade – PA. A regressão linear apresenta a correlação entre duas variáveis independentes, para isso, é gerado um valor para apresentar o quanto as duas variáveis se ajustaram à reta/linha de tendência, o "R-quadrado", sendo 100% para máxima e 0% para nenhuma correlação, além de nos apresentar graficamente tais resultados.

6.2.2 Ondeleta de coerência

Na Figura 36 podemos analisar que a coerência entre os dados de maré obtidos pelo marégrafo digital e do rastreio GPS é elevada, principalmente no período de 0,5 (12 h),

que representa a maré semidiurna da região, onde a coerência entre os dados de maré é máxima ou muito próxima disso. Com isso, é sabido afirmar que no ano de 2017, a coerência dos dados obtidos pelo marégrafo digital é coerente com os dados obtidos pelo rastreio por DGPS.

Além do mais, a coerência dos dados no período de 0,25 (6 h) e no período de 0,125 (3 h) tiveram bons índices de coerência, diferentemente dos dados coletados no ano de 2011. Isso ocorreu devido as coletas do marégrafo digital ter sido feita a uma menor distância do rastreio GPS, cerca de 12 km, o que promoveu uma maior coerência entre os dados, mesmo na análise feita em menores períodos.

Vale ressaltar que a baixa coerência observada no período de 3 h ocorreu devido a interpolação realizada no dado, que somente aproximou os dados dos reais. Com isso, baixa coerência foram identificadas nos dados analisados em menores períodos da ondeleta.

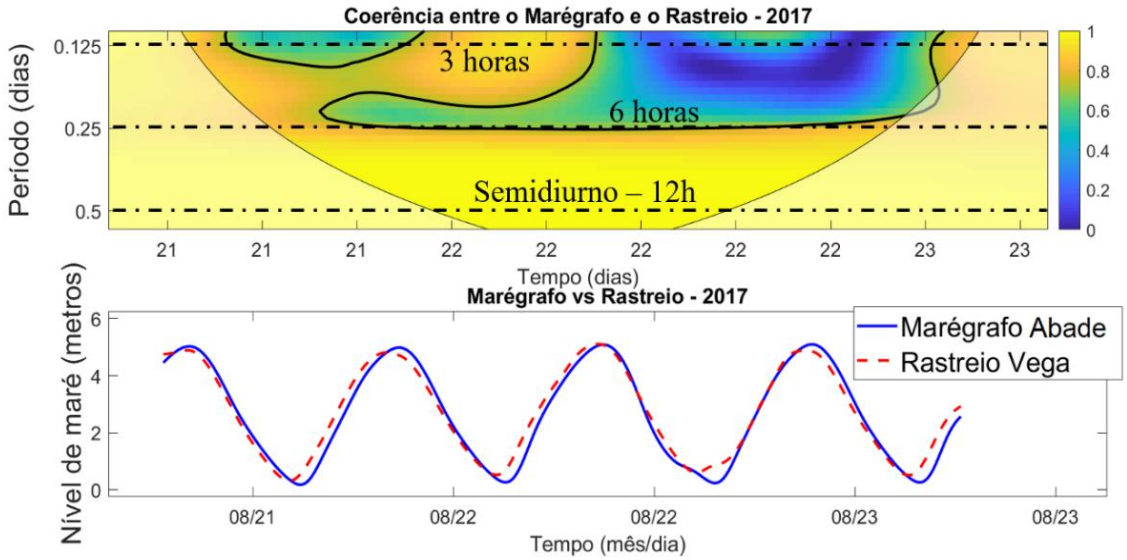

Figura 36- Ondeleta de coerência dos dados do o marégrafo digital em relação ao do rastreio GPS, com o gráfico de onda de maré inserido abaixo, coletados no ano de 2017. O gráfico de ondeleta de coerência demonstram a coerência entre dois dados em um determinado período de tempo. A coerência é demonstrada em um gradiente de cor, onde a tonalidade amarela (1) indica o máximo de coerência e a tonalidade azul (0) indica nenhuma coerência. O eixo x é representado em dias e o eixo y representa o período também em dias, sendo em 0,125 o período de 3 h, em 0,25 o período de 6 h (maré quartodiurna) e em 0,5 o período de 12 h (maré semidiurna). Além disso os gráficos de ondeleta possuem um cone destacado, essa região da imagem representa o intervalo de maior confiança dos dados, sendo os dados que estão fora do cone de menor confiança.

6.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MÉTODO

A maregrafia por DGPS demonstrou ser um método preciso, quando comparado com o marégrafo do tipo boia-contrapeso – um dos métodos mais utilizados para mensurar maré no Brasil. O método é promissor quanto a medição da onda de maré em pontos distantes da costa, no qual não há uma estrutura para instalar um marégrafo e nem seja viável a criação de uma para o estudo.

Entretanto, método de maregrafia por DGPS possui um custo elevado, quando comparado ao método do marégrafo digital do tipo boia-contrapeso, devido ao custeio de uma embarcação, da tripulação, dentre outros. Sendo assim, o método de maregrafia por DGPS é indicado para aqueles que já possuem o rastreador de dupla frequência, como diversas embarcações de grande porte, que visam obter informações maregráficas locais, caso contrário, a utilização de sensores de pressão e do marégrafo digital serão uma opção de menor custo e tão precisa quanto.

Além disso, a metodologia da maregrafia por DGPS é mais complexa do que a do marégrafo digital do tipo boia-contrapeso. Como foi descrito, os rastreios por GPS são cinemáticos, sujeitos a diversas perturbações durante a coleta dos dados de maré, diferentemente dos dados coletados pelo marégrafo digital, que é estático, fixo em um local. Por esse motivo, o método de maregrafia por DGPS, necessita de maiores correções do que o marégrafo digital para gerar dados confiáveis.

Posto isso, o pesquisador deve analisar as principais necessidades da sua pesquisa.

7 CONCLUSÕES

Foi visto que nas coletas realizadas no ano de 2011, os dados de maré obtidos pelo rastreio DGPS que tiveram maior similaridade com os marégrafos do tipo boia-contrapeso, foram os que estavam mais próximos da base de Guarás, devido a menor distância entre essas coletas, com uma média de 34 km.

As coletas realizadas no ano de 2017 foram as que tiveram uma maior correlação e coerência entre os dados de maré coletados pelo rastreio DGPS e marégrafo digital. Isso se deu pelo fato de os equipamentos terem feito as coletas cerca de 12 km um do outro. Com isso, comprovou-se que quanto mais perto for a coleta de dados de maré entre o marégrafo digital e o rastreio DGPS, maior será a correlação e coerência entre os dados obtidos.

Os resultados de regressão linear e os de ondeleta de coerência apresentaram-se eficazes na análise dos métodos de obtenção de maré entre os marégrafos digitais do tipo boia-contrapeso e dos rastreios por DGPS.

O método de maregrafia por DGPS demonstrou-se eficiente quanto a verificação de maré mensurada na foz do rio Pará, levando em consideração que a correlação dos dados obtidos por esse equipamento foi muito semelhante aos obtidos pelo marégrafo digital do tipo boia-contrapeso, um dos métodos mais utilizados para mensurar ondas de maré. Contudo, é um método de elevado custo, sendo indicado para medir ondas de maré fora da região costeira, onde não seja viável a instalação de um marégrafo digital.

REFERÊNCIAS

Almeida L. Q. & Silva F. M. 2012. Uma abordagem sobre a vulnerabilidade socioambiental no ambiente estuarino: Aspectos teórico – conceituais, *Revista Geonorte*, Edição Especial, V.1, N.4, p.102 – 112.

Blomenhofer H. H. G. W. & Landau H. 1990. Determination of instantaneous sea surface, wave heights, and ocean currents using satellite observations of the global positioning system, *Marine geodesy*, v. 14, pp. 217-224, 1990.

Davies J, H. 1964. A morphogenic approach of world shorelines. *Z. Geomorphology*, vol. 8, 127-142. 400 p.

El-Robrinni M. *et al.* 2003. *Erosão e progradação do litoral brasileiro* - Pará, 46p.

Florentino C. & Gregorio A. M. S. 2011. *Parecer técnico sobre o "Estudo da propagação da maré no estuário do rio Pará"*, Marinha do Brasil.

Florentino C. & Gregorio A. M. S. 2011. *Relatório de análise dos dados de maregrafia obtidos no canal do Quiriri e área continental adjacente*, Marinha do Brasil.

Florentino C. & Gregorio A. M. S. 2015. Aumento do calado máximo autorizado em função da maré e da atualização das cartas náuticas do litoral central da Amazônia, Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.

Florentino C. 2011. *Rio Pará: Canal do Quiriri – Processamento dos dados GPS rastreados de forma simultânea, durante 72 horas contínuas, para análise da oscilação do nível d'água pela altitude elipsoidal entre pontos móveis e suas referências fixas*, Marinha do Brasil.

Franco A. S. 1997. *Marés: fundamentos, análise e previsão*. 1th ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Brasil. 268p.

Gregorio A. M. S & Novaes L. S. 2016. *Históricos dos levantamentos hidrográficos e dos estudos hidroceanográficos realizados pelo CLSAOR no Canal do Quiriri/estuário do Rio Pará como subsídios para os testes com navios com calado máximo autorizado de 13,30 m*, Marinha do Brasil.

Gregorio A. M. S & Viera J. D. C. 2016. *Levantamento batimétrico expedito e reconhecimento do local de instalação da estação meteoceanográfica da Ilha dos Guarás - PA*, Marinha do Brasil.

Holthuijsen L. H. 2007. Waves in oceanic and coastal waters, *Cambridge University Press*. 405p.

Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing- IAC PNT. Disponível em: https://www.glonass-iac.ru/en/. Acesso em: 23/11/2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Posicionamento por Ponto Preciso- IBGE-PPP. 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e. Acesso em: 19/11/2019.

Intergovernmental Oceanographic Commission- IOC. 2002. Manual on sea level measurement and interpretation. Volume III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission, Manual and Guides No. 14, UNESCO 2002. 49p. Stewart 2004.

Jang M. W., Park K. W., Kim S. J., Bae S. J. 2015. Analysis of temporal and spatial changes in observed groundwater level in a paddy region. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*. 57. 163-171. 10.5389/KSAE.2015.57.6.163.

Ministério do Meio Ambiente- MMA. 2014. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). *Estudo socioambiental referente à proposta de criação de reserva extrativista marinha no município de São Caetano de Odivelas, Estado do Pará.* Belém, 2014.

Miranda L. B. *et al.* 2002. Princípios de oceanografía – Física de estuarios, Universidade de São Paulo. 411p.

National Aeronautics and Space Administration- NASA. Disponível em: https://www.nasa.gov/. Acesso em: 23/11/2019.

Nogueira E. C. 2017. *Propagação da maré em canais interconectados – Estudo de caso Estreito de Breves, PA*, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 70p.

Open University Course Team 2002. Waves, tides and shallow-water process. 2th ed. England. 227p.

Pinet P. R. 2009. Invitation to oceanography. 5th ed. *Jones and Bartlett Publishers*. 609p.

Pugh D. T. 1987. Tides, Surges and Mean Sea-level: A handbook for engineers and scientists. 1Th ed. *John Wiley & Sons, Chichester*. 472 p.

Ramos A. M. 2007. *Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso*, Universidade Federal do Paraná. 227p.

Rosário R. P. 2016. *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará*, Universidade Federal do Pará, 139p.

Silva P. M. 1972. Oceanografia Física. Ed. Patrocinada pelo Conselho Nacional de Pesquisas. Rio de Janeiro. 259p.

Sindopar 2017. Portos & Terminais Administrados pelo SINDOPAR. Disponível em: http://www.sindopar.org.br/?page=portos. Acesso em: 19/11/2019.

Sousa F. P. 2011. *Relatório: Rio Pará: Canal do Quiriri – Coleta de dados de oscilação do nível d'água de forma simultânea em cinco pontos durante 72 horas contínuas, utilizando 04 (quatro) rastreadores satélites Novatel DL-V3 e 01 (um) rastreador TRIMBLE 4000 SSE*, Marinha do Brasil.

Stewart R. H. 2004. Introduction to Physical Oceanography. *Texas A&M University*, EUA. 344p.

Tech Differences. Disponível em: https://techdifferences.com/difference-between-gps-and-dgps.html. Acesso em: 23/11/2019.

Thomson R. E. & Emery, W. J. Data analysis methods in physical oceanography. Second and Revised Edition. *Elsevier*. Chapter 3.

Unesco 1985. Manual de medição e interpretação do nivel do mar. Comissão Oceanográfica Internacional. 82p.

Vaz F. 2015. PTR5923 - GNSS: Métodos de posicionamento. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/380603/mod_resource/content/1/GNSS-Metodos%20de%20posicionamento.pdf. Acesso em: 19/11/2019.

Vellozo T. G. 2005. *Estudo preliminar do fenômeno da maré no Brasil*, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 115p.