

DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE UTILIDADE DE MARÉGRAFO COMPACTO DE BOIA E CONTRAPESO COM REFERÊNCIA DE NÍVEL

Luis H. P. Garbossa¹; Argeu Vanz¹; Robson Ventura¹; Juliana Mío de Souza¹;
Guilherme Sabino Rupp¹

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Epagri, 88034-901, Itacorubi, Florianópolis, SC, Brazil. (luisgarbossa@epagri.sc.gov.br, argeuvanz@epagri.sc.gov.br, robsonsouza@epagri.sc.gov.br, julianasouza@epagri.sc.gov.br, rupp@epagri.sc.gov.br)

ABSTRACT

The implementation of the Florianópolis Bay hydrodynamics simulation demands water level time series. These dataset are obtained thru the use of two tide gauges. The tide gauges are located in the extreme North and South of Florianópolis Bay inlets. This paper presents the details about the installation and adaptations developed to settle the tide gauges in order to acquire good quality datasets. The equipment used to acquire the data is a mechanical pulley with a buoy and plummet device, connected to a data logger. The data logger is programmed to record the water level each fifteen minutes. In the South tide gauge a Radar equipment is also installed in order to compare the results. The R^2 for the two tide gauges located at the same point in the South Bay is 0.995. The comparison of the results for the North and South tide gauges using R^2 results in 0.888. The adaptations made to build the tide gauge resulted in a utility model that is capable of acquiring good quality data for hydrodynamic modeling.

Keywords: Sea level, pulley, optimization.

INTRODUÇÃO

O monitoramento costeiro é de fundamental importância para uma série de atividades, entre elas podemos citar gerenciamento costeiro, estudos de processos oceanográficos, monitoramento de eventos extremos, subsídios para obras de engenharia costeira, cultivo de organismos vivos, entre outros.

Um dos projetos de pesquisa, em desenvolvimento na Epagri, tem como uma das metas o estudo da dispersão de poluentes provenientes de fontes naturais e antrópicas em função da dinâmica da Baía de Florianópolis. Este projeto irá identificar as áreas mais adequadas para o cultivo de moluscos bivalves.

Para o desenvolvimento desta etapa do projeto será usada a modelagem numérica hidrodinâmica. Uma das vantagens dos modelos numéricos é a possibilidade de criar diversos cenários para as variáveis em estudo, evitando o desperdício de tempo e recursos. Contudo, os modelos numéricos demandam dados de entrada para que possam ser calibrados e validados. Entre os dados necessários para calibrar modelos matemáticos para estudos junto à costa podemos citar a batimetria, precipitação, ventos, salinidade, pressão, contribuição de cursos de água, lançamentos líquidos de fontes antrópicas, entre outros.

Com o objetivo de implementar o modelo numérico e obter maior coeficiente de acerto nas simulações são necessárias campanhas de medições de alguns parâmetros diretamente na Baía. Para o monitoramento da variação do nível da maré pelo projeto foi necessária a instalação de marégrafos de boia e contrapeso para o levantamento de dados de nível em dois pontos da baía. Algumas peculiaridades fizeram com que adaptações fossem realizadas após a instalação inicial dos equipamentos.

Com o objetivo de contribuir com a instalação de equipamentos desse tipo o presente trabalho propõe uma melhoria funcional (modelo de utilidade) de marégrafo compacto de boia e contrapeso com referência de nível. A proposição do modelo de utilidade foi realizada com base na experiência adquirida durante a instalação de dois marégrafos na Baía de Florianópolis. Nesse artigo está descrita a instalação desses aparelhos seguindo as recomendações básicas do fornecedor dos equipamentos, a observação de problemas e realização de ajustes no modelo de

instalação inicial. Foi realizada uma avaliação dos resultados obtidos e por fim é apresentada uma proposta de modelo de utilidade de marégrafo compacto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A baía de Florianópolis separa a Ilha de Santa Catarina do continente, em suas margens estão situados os municípios de Florianópolis pelo lado insular e os municípios de Palhoça, São José, Biguaçu e Governador Celso Ramos pelo lado continental (Figura 1). A baía possui na sua área central um estreito que a divide em um setor norte e outro sul. Um marégrafo foi instalado nas proximidades do extremo norte da baía e outro nas proximidades do extremo sul.

Figura 1 - Localização da Baía de Florianópolis e dos dois marégrafos.

A instalação dos marégrafos e a realização dos ajustes ocorreram a partir de setembro de 2011. Trapiches protegidos foram usados como plataforma para a instalação dos equipamentos. Em cada um dos trapiches foi instalado um sensor de boia e contrapeso acoplado em um *datalogger*, ambos da marca OTT®. Como estrutura para a instalação de ambos os marégrafos (do norte e do sul da ilha) foi utilizado um tubo de PVC para água de abastecimento com diâmetro de 110 mm. Esse diâmetro foi escolhido para viabilizar a instalação associada ao modem, para transmissão de dados. O modem está abrigado em uma capsula que fica posicionada no topo do tubo. Como o diâmetro máximo do encaixe da capsula do modem é de Ø 110 mm, este foi o diâmetro selecionado para a tubulação de instalação.

O tubo teve a sua extremidade submersa fechada, através do uso de um cap soldável. Inicialmente foram feitos diversos furos, com diâmetro de 25 mm, próximos ao cap soldável para entrada e saída da água de acordo com o movimento da maré. Na extremidade oposta, foram fixados quatro parafusos para serem usados como apoio ao suporte da roldana e *datalogger*. O tubo foi fixado aos pilares de sustentação dos trapiches por meio de braçadeiras.

Um suporte (Figura 2) foi construído para fixar o marégrafo dentro do tubo de PVC seguindo o modelo sugerido por técnicos da empresa que forneceu o sensor de nível. O suporte é formado basicamente por três placas circulares de plástico com 90 mm de diâmetro que ficam distanciadas umas das outras por meio de barras roscadas. A placa superior possui um furo de 55 mm de diâmetro para que o *datalogger* possa ser acoplado. Esta estrutura foi introduzida na parte superior do tubo principal, apoiado nos parafusos de inox. Neste modelo de instalação inicial, a boia e o contrapeso ficavam soltos dentro do tubo de Ø 110 mm.

Figura 2 – Suporte para a roldana e o datalogger.

A definição de uma referência de nível para os marégrafos foi a primeira etapa do trabalho. Esta etapa foi concretizada pela materialização de duas RNs, a RN-Norte e a RN-Sul, conforme a Figura 3. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Figura 3 – Placas nos pontos de rastreio do RN-Norte e do RN-Sul.

Para o estabelecimento da Referência de Nível (RN) deste projeto foi utilizado um par GPS receptor L1/L2 e um conjunto de mira e nível topográfico com precisão de 1,0 mm/km. A definição das referências de nível (RN-Sul e RN-Norte) foi realizada através da materialização de dois marcos de referência topográfica, onde RN-Sul está localizada na Baía Sul e RN-Norte na Baía Norte.

A base fixa do GPS, para o pós-processamento, foi mantida em um ponto utilizado como referência pela Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca do Estado de Santa Catarina, localizada próxima a sua sede (Base). Ademais, foram ocupadas duas estações geodésicas do IBGE (2005M E 2006J) para permitir os cálculos das altitudes ortométricas das RN's de interesse (RN-Sul e RN-Norte).

Para a calibração dos marégrafos utilizou-se a referência de nível do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). O SGB é definido a partir da adoção do sistema geodésico de referência (SGR). Este é definido por duas componentes: SGR horizontal (datum planimétrico) e o SGR

vertical (datum altimétrico), e a rede de referência, consistindo das estações monumentadas (materializadas), as quais representam a realização física do sistema (Monico, 2000).

A Figura 4 ilustra a relação entre as superfícies usadas em geodésia, onde N é a ondulação geoidal ou altura geoidal, H altitude ortométrica e h altitude geométrica. Em trabalhos cartográficos a quantidade de especial interesse é a altitude ortométrica, a qual é vinculada ao campo gravitacional da Terra. O GPS proporciona a altitude geométrica h (referida ao elipsóide), cuja conversão para ortométrica necessita-se do conhecimento da ondulação do geóide na área de interesse (Monico, 2000).

Figura 4 - Relação entre as superfícies usadas na geodésia. Fonte: Nérís (2004)

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através da Coordenação de Geodésia (CGED) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP realizaram conjuntamente a atualização do modelo de ondulações geoidais, possibilitando aos usuários de GPS converter as altitudes geométricas (h) em ortométricas (H) com uma melhor confiabilidade. O modelo MAPGEO2010 foi calculado com uma resolução de 5' de arco, e o Sistema de Interpolação de Ondulações Geoidais foi atualizado (disponível em www.ibge.gov.br). Através deste sistema, é possível obter a ondulação geoidal em um ponto ou conjunto de pontos, cujas coordenadas referiram-se tanto a SIRGAS2000 quanto a SAD69.

A consistência entre o modelo geoidal MAPGEO2010 e o sistema altimétrico brasileiro derivado do nivelamento geométrico foi obtida pela diferença entre estas duas informações, resultando num erro médio padrão de $\pm 0,32$ m para as áreas mais desenvolvidas do país.

O método relativo consiste em determinar a altitude ortométrica de um ponto de interesse (RN-Sul e RN-Norte) em relação a uma estação de referência (2005M e 2006J) de coordenadas geodésicas e altitudes ortométricas conhecidas.

Na Equação 1 temos H_I a altitude de interesse, H_R a altitude da estação de referência, a diferença de altitude geométrica Δ_h , determinada pelo posicionamento relativo com o GPS e a diferença da altitude geoidal Δ_N , determinadas a partir do modelo geoidal – MAPGEO 2010 (Featherstone et al., 1998).

$$H_I = H_R + (\Delta_h - \Delta_N) \quad (1)$$

A Tabela 1 apresenta o resultado dos cálculos, pelo método relativo, para obtenção da altitude ortométrica (Equação 1) dos pontos de interesse (Figura 3).

Tabela 1 – Posição das RNs de interesse (SIRGAS 2000).

Após obter os valores das altitudes ortométricas, foi possível instalar os marégrafos e relacionar o nível medido pelos equipamentos com a RN estabelecida.

Após a calibração dos marégrafos, os *dataloggers* foram programados para registrarem a altura da maré a cada 15 min. No Sul da Ilha de Florianópolis, além do marégrafo de boia e contrapeso, foi instalado um marégrafo de radar com pulsos de 24 GHz acoplado a um *datalogger* para registrar os dados. O radar, diferente do marégrafo por boia e contrapeso, não foi instalado dentro de um tanque de tranquilização. Esta instalação combinada permitiu a comparação dos resultados obtidos através de dois sistemas de coleta distintos. Nesse artigo apresentamos os resultados do radar como uma referência para os resultados obtidos com os marégrafos de boia e contrapeso durante um período de 2,5 meses.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a instalação inicial dos equipamentos foi observado que os resultados obtidos nos maregramas indicavam problemas. A Figura 5 apresenta trechos das medições com exemplos dos problemas identificados. Os gráficos apresentados estão com o eixo vertical em centímetros e o horizontal em horas.

Figura 5 – Problemas encontrados no marégrafo de boia e contrapeso.

Conforme pode ser observado nos gráficos A e B da Figura 5, apesar da coleta ocorrer de forma contínua, os valores foram aumentando aos poucos, ocorrendo um incremento na altura da maré ao longo das horas. Em três dias ocorreram aumentos nos valores médios de, aproximadamente, 3,0 m e 2,0 m, respectivamente. Estes valores estão acima da amplitude máxima de maré registrada para a região. Ademais, na Figura 5 C é possível observar a interrupção do registro das medições. Este tipo de interrupção ocorreu algumas vezes durante a fase de testes do marégrafo e foi devido a dois motivos, o travamento da boia dentro da tubulação e o escape do cabo de aço para fora da polia. Finalmente, na Figura 5 D, houve um salto nos valores registrados, da ordem de 2,5 m. Esta variação ocorreu, provavelmente, devido ao deslizamento do cabo de aço na polia, forçado pelo deslocamento da boia ou contrapeso em alta velocidade dentro do tubo.

Dentre os principais fatores que provocaram problemas nas medições, podemos citar o diâmetro dos furos no tubo, a fixação do tubo no trapiche, o comprimento do cabo de aço, o enroscamento do cabo da boia e do contrapeso, a altura de instalação da roldana dentro do tubo e o diâmetro do tubo utilizado.

Após a realização dos testes e observação dos problemas, adaptações foram feitas na estrutura. Um tubo com \varnothing 25 mm foi instalado no interior do tubo principal, em um nível abaixo dos quatro parafusos, com um cap soldável na extremidade inferior, servindo de guia para o contrapeso (Figura 10). Dessa forma apenas a boia ficava solta no espaço entre o tubo menor e o tubo de 110 mm enquanto o contrapeso ficava posicionado dentro do cano de 25mm. Como o espaço interno do tubo de 110 mm ficou reduzido pelo tudo de 25mm, uma nova boia com diâmetro menor que a original teve que ser instalada. Além disso, os furos de acesso a água foram reduzidos para \varnothing 10 mm. O somatório total da área dos furos corresponde a 8% da área da seção do tubo.

Após a realização das adaptações, a série de dados não teve mais indicativos de problemas. Os níveis medidos pelos marégrafo de boia e contrapeso e pelo de radar apresentaram valores muito similares. A Figura 6 apresenta um período com resultados no qual é possível observar a aderência entre as linhas plotadas. Ademais, o coeficiente de determinação (R^2) para o período de 2,5 meses de observações foi igual a 0,995.

Figura 6 – Trecho dos maregramas do Sul por ■ boia e contrapeso e do Norte por ■ radar.

O valor médio da diferença entre as leituras dos dois equipamentos é de apenas 2,6 cm. O valor da média das leituras, para o período de 2,5 meses, do marégrafo de boia e contrapeso e do radar foram $4,4 \pm 31,9$ e $7,0 \pm 31,7$, respectivamente. Estas informações indicam que o monitoramento feito com o marégrafo de boia e contrapeso está adequado e que as adaptações evitaram que o cabo de aço da boia e do contrapeso enrolassem.

Quando os resultados dos dois marégrafos de boia e contrapeso, norte e sul, são avaliados durante o mesmo período, é possível identificar que as adaptações resultaram em séries de dados consistentes (Figura 7). O coeficiente de determinação (R^2) para o período de 2,5 meses de observações entre o Norte e Sul da Ilha de Florianópolis foi de 0,888. Este valor pode ser considerado satisfatório considerando que eventos climáticos e ondas de alta frequência tem um papel importante no comportamento das marés no extremo Sul e extremo Norte da baía de Florianópolis.

Figura 7 – Maregramas do marégrafo ■ Sul em preto e do marégrafo ■ Norte em vermelho.

A média da diferença nas séries temporais, para o período apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é de 46 cm, muito próximo da diferença para o período de 2,5 meses de observações, igual a 49 cm. Contudo, apesar da diferença, é possível verificar que o monitoramento dos dois pontos está adequado, pois as séries temporais aderem muito bem se sobrepostas. Esta diferença pode ser corrigida para fins de modelagem hidrodinâmica das baías.

Segundo Alencar (1990), a divergência do Nível Médio do Mar (NMM) em Florianópolis referido ao marégrafo de Imbituba é de, aproximadamente, 7 cm. Considerando que a distância entre os pontos monitorados (Norte e Sul) em Florianópolis é inferior a 45 km, é possível afirmar que há um problema com as RNs utilizadas como referência para os marégrafos. Com a ampliação do período monitorado será feita uma avaliação detalhada para identificação do motivo pelo qual essa diferença que está ocorrendo. A Figura 8 apresenta fotos dos marégrafos instalados atualmente nos pontos de monitoramento.

Figura 8 – Marégrafo no sul da Ilha (A) e marégrafo no norte da Ilha (B).

Após a observação de que a instalação dos marégrafos de boia e contrapeso gerou séries de dados consistentes, é proposto um modelo de utilidade para um marégrafo compacto, para monitoramento de curto prazo e baixo custo de instalação. O modelo de utilidade difere ainda do modelo de instalação adotado atualmente nos marégrafos instalados pelo projeto, objetivando facilitar ainda mais sua instalação e garantir a geração de dados consistentes e de qualidade. Os principais pontos para funcionamento do marégrafo de boia e contrapeso estão apresentados na Figura 9 e na Figura 10.

Figura 9 - Modelo de utilidade para o suporte do marégrafo de boia e contrapeso.

Figura 10 – Detalhe 1 em corte da tubulação de suporte para a boia e contrapeso.

É importante destacar o uso de tubo de Ø 150 mm de forma que a boia original do marégrafo possa ser utilizada na instalação. Cabe salientar que as medidas apresentadas nas figuras podem variar dependendo das características do equipamento utilizado.

CONCLUSÕES

Após a realização de adaptações, os marégrafos de boia e contrapeso instalados geraram bases de dados consistentes e com alta correlação com dados gerados por um equipamento de radar, indicando a precisão do modelo desenvolvido. As adaptações propostas resultaram em um modelo de utilidade compacto para monitoramento de curto prazo e baixo custo de instalação.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro através do projeto CNPq/CT-Hidro/MPA nº 18/2010 e a Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca do Estado de Santa Catarina, através da Gerência de Assuntos Fundiários pelo apoio da equipe de topografia.

REFERÊNCIAS

- Alencar, J.C.M. 1990. Datum Altimétrico Brasileiro. IBGE, Rio de Janeiro. Separata de Cadernos de Geociências, nº 5, p. 69-73.
- Featherstone, W.E.; Dentith, M.C. & Kirby, J.F. 1998. Strategies for the accurated determination of orthometric heights from GPS. Survey Review, 34: 278-296.
- Intergovernmental Oceanographic Commission – IOC. 1985. Manual on sea level measurement and interpretation. Volume I – basic procedures. Manuals and guides 14. UNESCO.75p.
- Monico, J.F.G. 2000 Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicação. 1ª Edição. São Paulo, Editora UNESP, 287.
- Néris, F.L. 2004. Análise da qualidade geométrica de diferentes bases cartográficas para o cadastro técnico multifinalitário urbano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 132p.

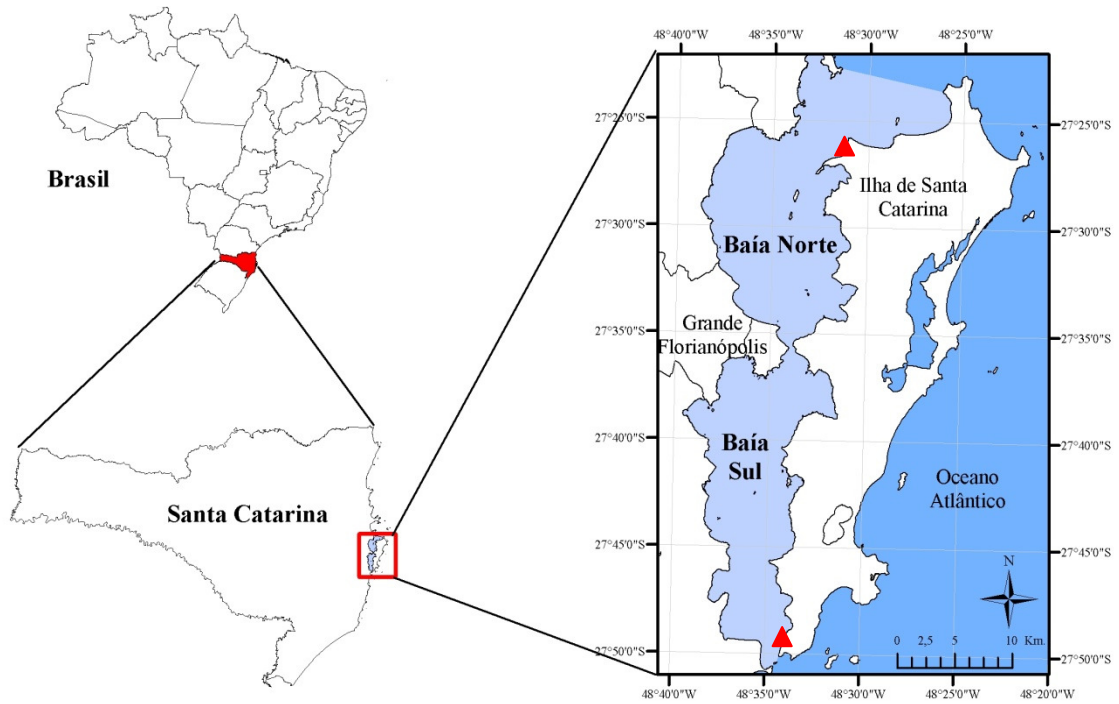


Figura 1 - Localização da Baía de Florianópolis e dos dois marégrafos.

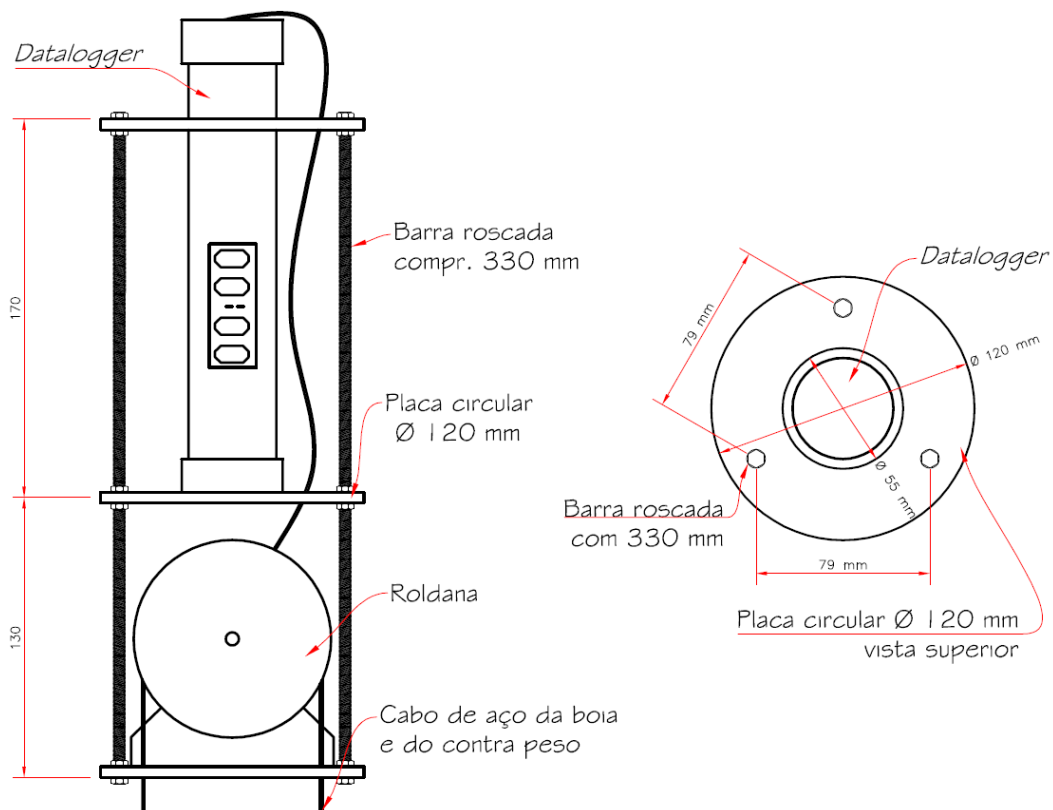


Figura 2 – Suporte para a roldana e o datalogger.



Figura 3 – Placas nos pontos de rastreio do RN-Norte e do RN-Sul.

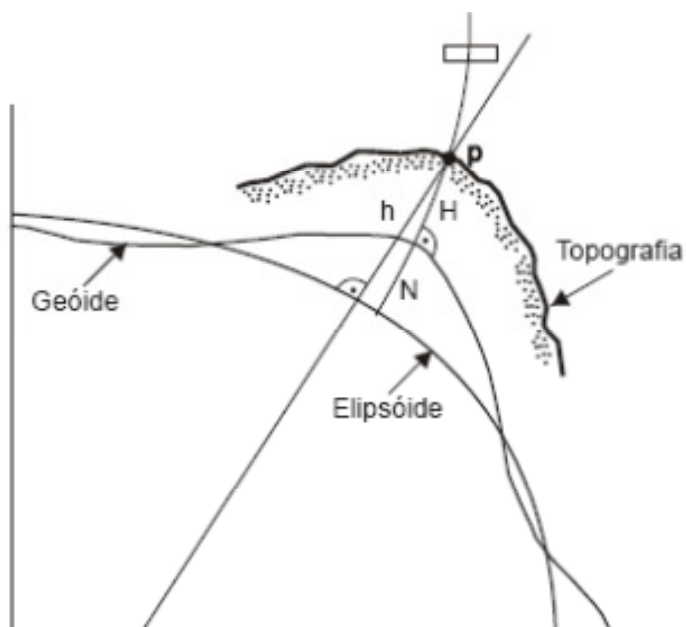


Figura 4 - Relação entre as superfícies usadas na geodésia. Fonte: Nérís (2004)

Tabela 1 – Posição das RNs de interesse (SIRGAS 2000).

RN	Latitude	Longitude	h	H
NORTE	-27° 26' 04,4433"	-48° 28' 46,6682"	2,9470 m	3,0620 m
SUL	-27° 48' 58,5234"	-48° 33' 49,4660"	1,7170 m	1,1152 m

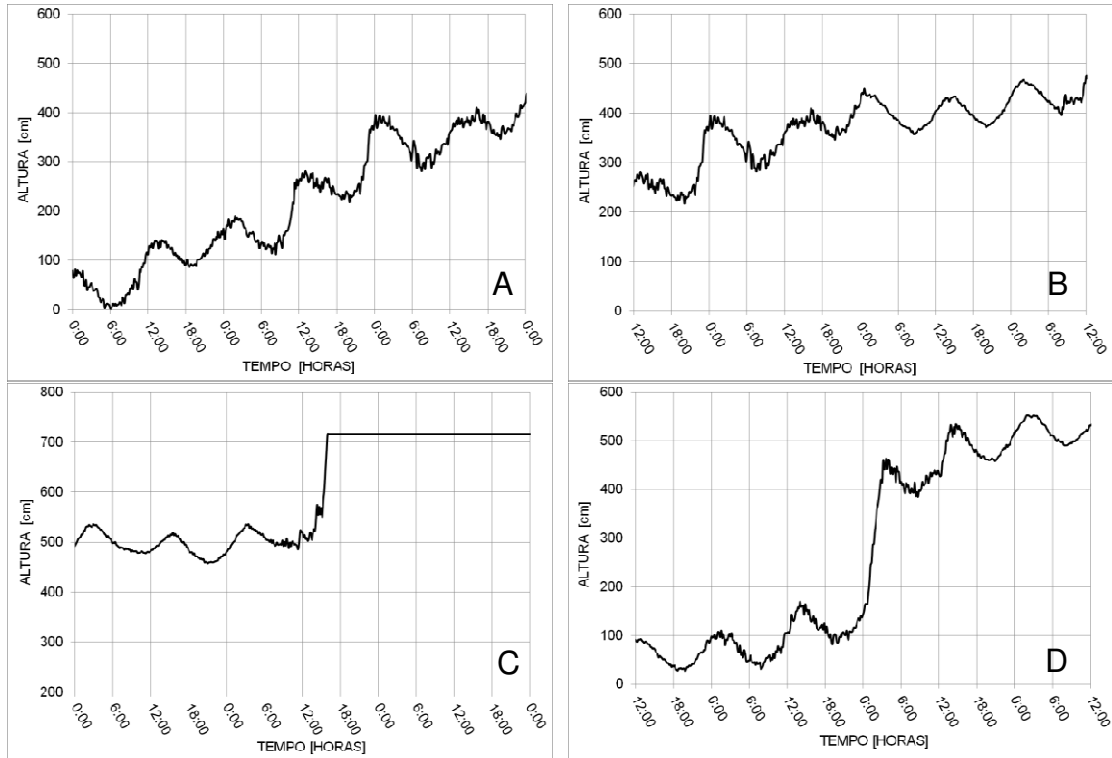


Figura 5 – Problemas encontrados no marégrafo de boia e contrapeso.

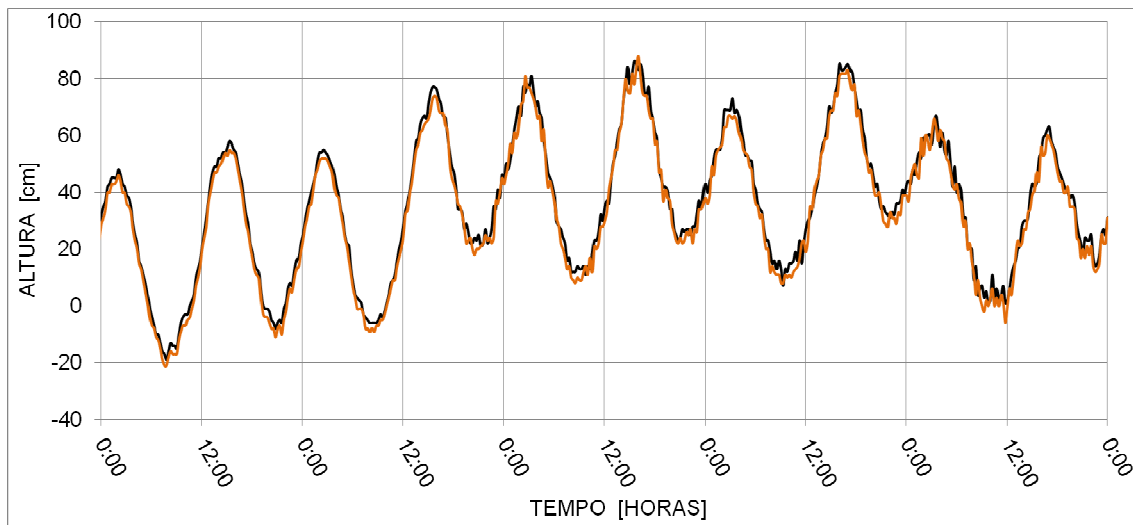


Figura 6 – Trecho dos maregramas do Sul por ■ boia e contrapeso e do Norte por ■ radar.

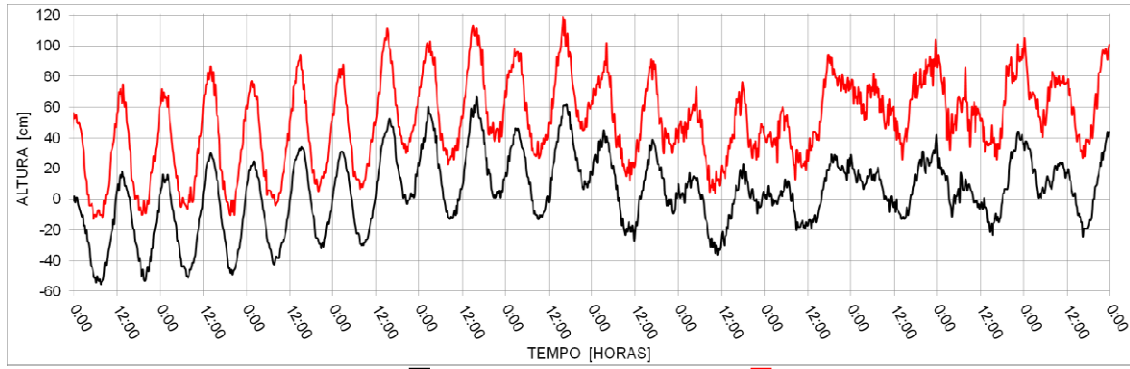
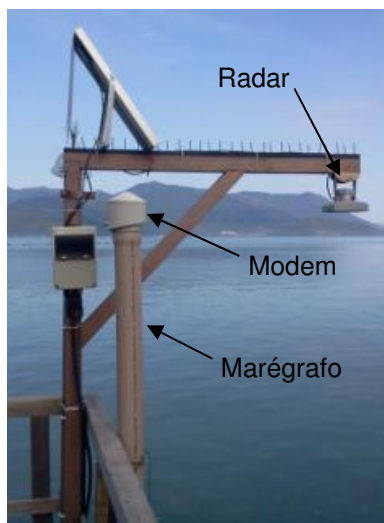


Figura 7 – Maregramas do marégrafo ■ Sul em preto e do marégrafo ■ Norte em vermelho.



A



B

Figura 8 – Marégrafo no sul da Ilha (A) e marégrafo no norte da Ilha (B).

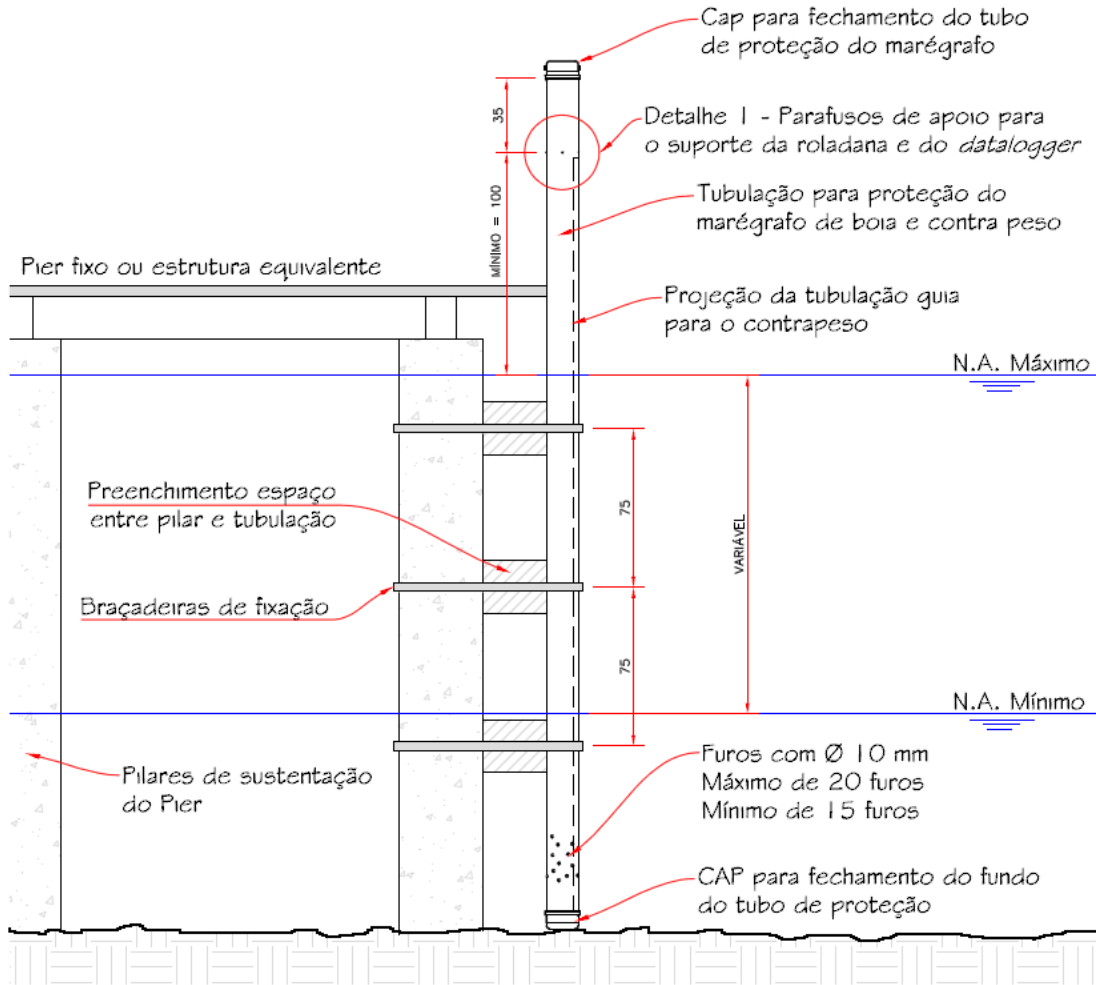


Figura 9 - Modelo de utilidade para o suporte do marégrafo de boia e contrapeso.

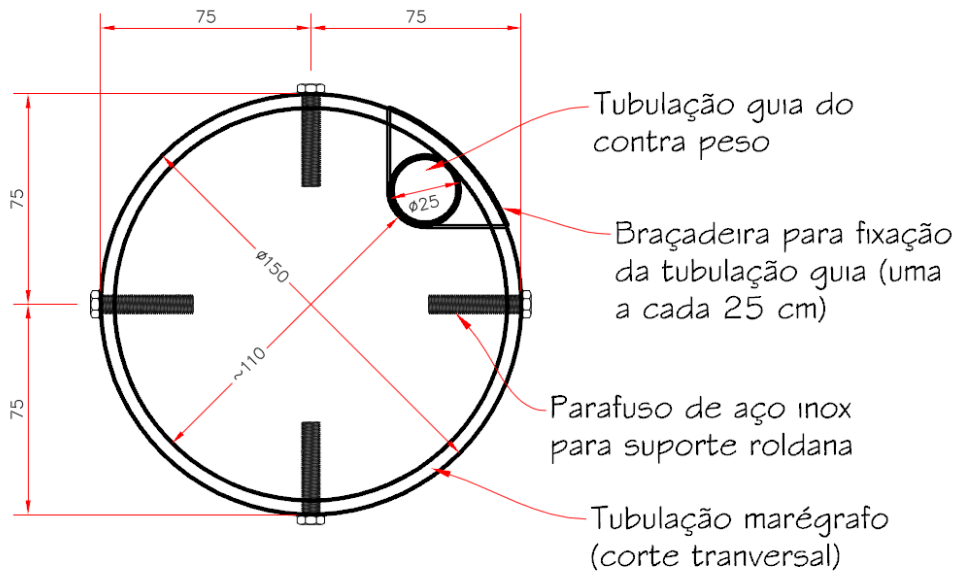


Figura 10 – Detalhe 1 em corte da tubulação de suporte para a boia e contrapeso.