

**MEDIÇÕES DE NÍVEL D'ÁGUA NAS LAGOAS DE ITAIPU,
PIRATINIGA E OCEANO ADJACENTE COMO SUBSÍDIO AO
ENTENDIMENTO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DO
SISTEMA**



**CONTRATO SEXEC Nº 07/2018 - ELABORAÇÃO DE ESTUDOS PARA
ANÁLISE DA CONDIÇÃO AMBIENTAL DO SISTEMA PERILAGUNAR
PIRATINIGA-ITAIPU – NITERÓI**

Porto Alegre, 24 de janeiro de 2019

MEDIÇÕES DE NÍVEL D'ÁGUA NAS LAGOAS DE ITAIPU, PIRATININGA E OCEANO ADJACENTE COMO SUBSÍDIO AO ENTENDIMENTO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DO SISTEMA

CONTRATO SEXEC Nº 07/2018 - ELABORAÇÃO DE ESTUDOS PARA ANÁLISE DA CONDIÇÃO AMBIENTAL DO SISTEMA PERILAGUNAR PIRATININGA-ITAIPU - NITERÓI

Preparado para:

PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI - RJ
SECRETARIA EXECUTIVA
Niterói – RJ

Preparado por:

HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI
Porto Alegre - RS

Distribuição:

01 cópia – Prefeitura Municipal de Niterói – RJ.

01 CÓPIA – HIDROSCIENCE Consultoria e Restauração Ambiental EIRELI.

Mês/Ano	Documento
Janeiro, 2019	RE_P2_D.OCEANO E NÍVEL_V02

Controle de Produção do Documento

Profissional	Qualificação	Registro Profissional	Cargo/Função	Assinatura
Tiago Finkler Ferreira	Biólogo Ms. Dr. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	CRBIO RS 41024	Coordenação Geral e Responsabilidade técnica dos serviços	
Rafael Bonanata	Oceanógrafo, MsC. em Oceanografia	AOCEANO 1284	Coordenação Técnica, Análise morfodinâmica, Modelagem Oceânica e análise de estruturas hidráulicas	

MEDIÇÕES DE NÍVEL D'ÁGUA NAS LAGOAS DE ITAIPU, PIRATINIGA E OCEANO ADJACENTE COMO SUBSÍDIO AO ENTENDIMENTO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DO SISTEMA

**CONTRATO SEXEC Nº 07/2018 - ELABORAÇÃO DE ESTUDOS PARA
ANÁLISE DA CONDIÇÃO AMBIENTAL DO SISTEMA PERILAGUNAR
PIRATINIGA-ITAIPU - NITERÓI**

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	4
2. ESCOPO DO SERVIÇO	4
3. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA LAGUNAR PIRATINIGA-ITAIPU	4
4. METODOLOGIA	8
4.1 Estações de medição de nível d'água	9
4.2 Referenciamento dos dados de nível d'água ao sistema geodésico brasileiro (Datum Vertical de Imituba).....	10
5. PROCESSAMENTO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE NÍVEL D'ÁGUA COLETADOS.....	16
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	24
7. EQUIPE TÉCNICA	26
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1. APRESENTAÇÃO

A empresa HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI, com sede à Rua Joaquim Nabuco nº 115/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340 em Porto Alegre – RS, vem por meio deste, apresentar o relatório de MEDIÇÕES DE NÍVEL D'ÁGUA NAS LAGOAS DE ITAIPU, PIRATININGA E OCEANO ADJACENTE COMO SUBSÍDIO AO ENTENDIMENTO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DO SISTEMA referente ao contrato SEXEC nº 07/2018, cujo objeto é a execução dos “Estudos para Análise da Condição Ambiental do Sistema Lagunar Piratininga- Itaipu e Proposição das Ações necessárias à melhoria da sua dinâmica ambiental e hídrica, bem como a redução do aporte de nutrientes às lagoas, visando aos usos múltiplos”.

2. ESCOPO DO SERVIÇO

Os serviços contratados para análise da condição ambiental do sistema Perilagunar Piratininga-Itaipu compreendem o monitoramento da qualidade da água das lagoas, monitoramento da qualidade do sedimento, aplicação dos dados meteorológicos e oceanográficos, levantamento de dados hidrológicos, caracterização das comunidades planctônicas, bentônicas e de macrófitas aquáticas, inventário da ictiofauna e carcinofauna, inventário da herpetofauna, avaliação do estado trófico do sistema e estudo de balanço de massas.

Para avaliação e proposição de ações de recuperação ambiental, serão realizadas modelagens matemáticas integrando dados biológicos e físicos obtidos ao longo dos monitoramentos para simular cenários de qualidade da água, considerando aspectos hidrodinâmicos e morfodinâmicos costeiros. Estas modelagens servirão para avaliar os processos de renovação hidráulica das lagoas em função de sua interação com o oceano e recebimento de cargas da bacia. Desta forma será possível avaliar a capacidade de depuração do sistema no cenário atual e em cenários futuros considerando a implementação de ações de recuperação ambiental.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA LAGUNAR PIRATININGA-ITAIPU

A região oceânica de Niterói vem sofrendo um intenso processo de urbanização desde a década de 1940, quando foi determinada pelo poder público e pelo setor

privado como área de expansão urbana de Niterói (SALANDÍA, 2001). Este intenso processo de urbanização ao longo dos anos promoveu incremento das densidades populacionais na região e maior demanda para construção de residências. Esse processo é caracterizado principalmente pela ocupação de favelas e loteamentos nas margens das lagoas, por condições precárias de infraestrutura sanitária (Figura 1), despejos de esgotos sanitário in natura, desmatamento das matas ciliares e erosão das encostas. Estas ações ocasionaram mudanças negativas para conservação do patrimônio paisagístico da região, pondo em risco a manutenção e conservação da biodiversidade local.



Figura 1 – Afluentes constituintes do sistema lagunar Piratininga-Itaipu. Nas imagens é possível observar as condições precárias de qualidade da água do sistema decorrentes do lançamento de esgotos in natura nos principais contribuintes da bacia (Foto tirada durante visita técnica realizada pela Hydrosience em 25/05/2018).

Essa região apresenta uma paisagem fortemente marcada pela presença das lagoas de Piratininga e Itaipu, constituindo o sistema Lagunar de Piratininga-Itaipu (Figura 2), as quais vêm sofrendo crescente processo de alteração de suas características morfológicas e biológicas em função das atividades antrópicas executadas na região de entorno (FONTENELLE e CÔRREA, 2014). Esse processo de

degradação se intensificou a partir de 1946 com a abertura do Canal do Camboatá, um canal de ligação entre a Lagoa de Piratininga e a de Itaipu que possui cerca de 2,15 km de extensão, largura média de 9,5 m e profundidade média de 0,4 m (SEMADS, 2001). A obra, executada pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento, foi feita com o intuito de conter enchentes na região, evitar alagamento das áreas adjacentes às lagoas, e assim, conter epidemias causadas por doenças transmitidas por mosquitos. Entretanto, isso causou rebaixamento do nível da água em Piratininga ocasionando transformações nas condições hidráulicas e ambientais do sistema.

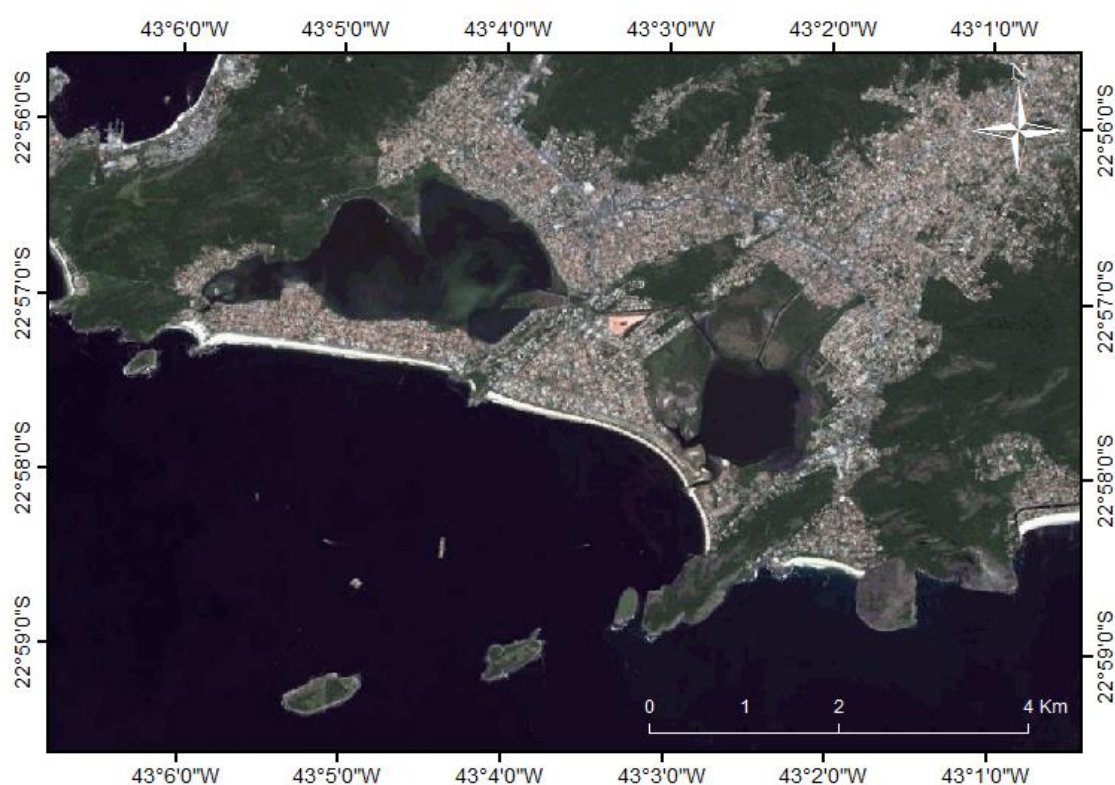


Figura 2 – Localização das lagoas de Piratininga e Itaipu. Na imagem é possível observar elevado adensamento populacional no entorno das lagoas. Fonte: Google Earth.

A existência do Canal de Camboatá possibilitou a partir de 1970, a construção de grandes loteamentos na região, tais como, Cambinhas, Cafubá e Maravista, e posteriormente, a ampliação das terras situadas no entorno das lagoas (RODRIGUES, 2004), visto que, com a abertura do canal houve a redução no nível da água da lagoa. O surgimento de novas áreas secas nesse entorno estimulou a ocupação urbana irregular das margens, agravando ainda mais os problemas ambientais (CARNEIRO *et al.*, 1993). Além disso, esse processo acelerado de ocupação também foi decorrente da

inauguração da Ponte Rio – Niterói (1974), que resultou em grandes investimentos do setor imobiliário (MIZUBUTI, 1986). Como resultado, a área urbana avançou 10,35 km entre 1976 e 2011, com um crescimento de 111,7%, e com aumento de 600% no número de domicílios, chegando a cerca de 22.000 unidades habitacionais (FONTENELLE e CORRÊA, 2012).

Em decorrência destes fatores, o sistema lagunar Itaipu-Piratininga sofreu e vem sofrendo os impactos de uma ocupação desordenada, que gerou o lançamento de esgotos sanitários *in natura*, carreamento de lixo e sedimentos para o corpo hídrico, ocasionando perdas totais de 879.000 m no espelho d'água de ambas as lagoas (FONTENELLE *et al.*, 2014) e, conseqüentemente, mudanças na qualidade hídrica (Figura 3). Além disso, a região marginal sofreu com aterros e construções, perdendo cobertura original de restinga.



Figura 3 – Alteração da qualidade hídrica do sistema lagunar de Piratininga-Itaipu em decorrência dos impactos da ocupação desordenada. Foto tirada durante visita técnica realizada pela Hydrosience em 25/05/2018.

Diante desse contexto, a execução dos estudos de análise da condição ambiental do sistema Lagunar Piratininga- Itaipu tem o intuito de propor ações necessárias à melhoria da sua condição ambiental e melhor aproveitamento dos usos múltiplos desses recursos hídricos, considerando o cenário atual de aporte de cargas na bacia e cenário futuro de redução desses impactos esperado em função das ações do Projeto SE LIGA que vem sendo conduzidas e melhoramentos da rede de coleta sanitária.

4. METODOLOGIA

Foram realizadas medições de nível d'água nas lagoas de Itaipu e Piratininga e no oceano adjacente, com o objetivo de dar os subsídios necessários ao entendimento do comportamento hidrodinâmico do complexo lagunar e fornecer informações necessárias ao procedimento de calibração e validação de modelos hidrodinâmicos a serem implementados na região, em etapa subsequente. As medições foram obtidas a partir da instalação de três conjuntos de sensores conforme Figura 4. Durante os primeiros meses de execução dos trabalhos de campo nas lagoas, verificou-se um fluxo de água quase permanente no Canal de Camboatá, evidenciando a troca de água entre as lagoas de Piratininga e Itaipu. Este fluxo de água se dá pelo gradiente de pressão gerado pela diferença de nível d'água existente entre as lagoas, resultante da ação das marés oceânicas que entram de maneira diferenciada nos dois corpos de água, pelo Túnel do Tibau à lagoa de Piratininga, e pela desembocadura da lagoa de Itaipu. Como o fluxo de água no Canal ocorre pela diferença de nível de água existente entre as lagoas, considerou-se a instalação dos sensores em cada corpo de água forçador, ou seja, em cada lagoa e no mar. Desta forma, tornando desnecessária a instalação de um quarto sensor no Canal de Camboatá.

Dados de nível d'água foram coletados pelo período contínuo e ininterrupto de 36,125 dias, utilizando dois sensores de pressão da marca Solinst, modelo Levellogger Edge, um sensor de pressão da marca Onset, modelo HOBO U20L-004 e um sensor de pressão atmosférica da marca Solinst, modelo Barologger Edge, utilizado para realizar a compensação barométrica dos dados de nível d'água coletados.

Os dados de nível d'água foram referenciados à Rede Fundamental do IBGE através de procedimento envolvendo rastreamento GPS (Global Positioning System) e nivelamento geométrico de alta precisão.

A partir do uso de rigorosas rotinas computacionais, foi realizada a análise de consistência dos dados medidos e uma análise espectral, a partir da qual foi identificada a energia contida em cada banda de frequência de oscilação.

4.1 Estações de medição de nível d'água

Medições de nível d'água foram realizadas por um período contínuo e ininterrupto de 36,125 dias (entre 21/09/2018 e 27/10/2018), cobrindo pouco mais de um mês solar completo, através de sensores de pressão da marca *Solinst*, modelo *Levellogger EDGE*, instalados no oceano e Laguna de Itaipu, bem como um sensor da marca *Onset*, modelo *HOBO U20L-004*, instalado no interior da Laguna de Piratininga.

Uma ilustração dos equipamentos utilizados nas medições é apresentada na Figura 4.



Figura 4 - Sistema de medição de nível d'água Levellogger EDGE e pressão atmosférica Barologger EDGE (painel esquerdo) e sensor de nível d'água HOBO U20L-004 (painel direito).

Os sensores de nível d'água foram fixados no leito das lagoas e no leito oceânico através da cravação de tubos perfurados, garantindo a integridade dos equipamentos e perenidade das medições. As posições de instalação dos equipamentos são apresentadas na Figura 5.



Figura 5 - Vista em planta da área de estudo e local de instalação dos equipamentos de medição de nível d'água no oceano e lagoas de Itaipu e Piratininga.

As coordenadas geográficas dos pontos de medições de nível d'água realizadas no oceano e lagoas de Itaipu e Piratininga são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de medições de nível d'água realizadas no oceano e lagoas de Itaipu e Piratininga.

ESTAÇÃO	LAT	LON
Oceano	22° 58' 36,32" S	43° 2' 59,40" O
Itaipu	22° 57' 52,44" S	43° 2' 22,16" O
Piratininga	22° 56' 51,02" S	43° 5' 21,35" O

Para compensar os efeitos da pressão atmosférica, foi utilizado um sensor de pressão do tipo *Barologger EDGE*, fixado em local seguro em terra durante todo o período de medição.

Os registros de pressão absoluta e pressão atmosférica foram adquiridos em intervalos amostrais de 10 (dez) minutos e armazenados em memória interna do equipamento.

4.2 Referenciamento dos dados de nível d'água ao sistema geodésico brasileiro (Datum Vertical de Imbituba)

Uma régua maregráfica/linimétrica de 2 m de comprimento foi instalada nas proximidades de cada marégrafo para realização de leituras concomitantes e auxílio no procedimento de nivelamento dos dados de nível d'água ao *Datum Vertical de*

Imbituba. Adicionalmente, um marco de apoio topográfico foi materializado no terreno, nas proximidades de cada régua maregráfica.

Na Figura 6, Figura 7 e Figura 8 são apresentadas fotografias das réguas maregráficas instaladas na porção oceânica, Laguna de Itaipu e Laguna de Piratininga, respectivamente, bem como os marcos de apoio topográfico materializados no terreno para apoio ao procedimento de nivelamento dos dados de nível d'água ao referencial altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro.



Figura 6 - Régua maregráfica instalada na porção oceânica (painel esquerdo) e marco de apoio topográfico materializado no terreno para apoio ao procedimento de nivelamento dos dados de nível d'água ao referencial altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro.



Figura 7 - Régua maregráfica instalada na Laguna de Itaipu (painel esquerdo) e marco de apoio topográfico materializado no terreno para apoio ao procedimento de nivelamento dos dados de nível d'água ao referencial altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro.



Figura 8 - Régua maregráfica instalada na porção Laguna de Piratininga (painel esquerdo) e marco de apoio topográfico materializado no terreno para apoio ao procedimento de nivelamento dos dados de nível d'água ao referencial altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro.

As coordenadas geográficas dos marcos de apoio topográfico da área oceânica e lagoas de Itaipu e Piratininga são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Coordenadas geográficas dos marcos de apoio topográfico implantados na área de estudo.

MARCO	LAT	LON
Oceano	22° 58' 26,26" S	43° 02' 49,77" O
Itaipu	22° 57' 52,44" S	43° 02' 21,76" O
Piratininga	22° 56' 53,66" S	43° 05' 20,77" O

As altitudes ortométricas dos marcos de apoio foram obtidas a partir de rastreamento GPS, utilizando um Receptor GNSS Topcon Hiper V UHF GSM.

Na Figura 9 é apresentado o equipamento instalado sobre o marco de apoio topográfico durante procedimento de rastreamento.



Figura 9 - Rastreamento GPS sendo realizado nos marcos de apoio topográficos das lagoas de Itaipu e Piratininga.

O processamento dos dados obtidos a partir do rastreamento GPS foi realizado com o software Topcon Tools. O transporte de altitude ortométrica é realizado com técnica GPS a partir da componente vertical – altura elipsoidal (h) e ondulação geoidal obtida no modelo geoidal brasileiro – MAPGEO 2015, elaborado pelo IBGE, representado na Figura 10.

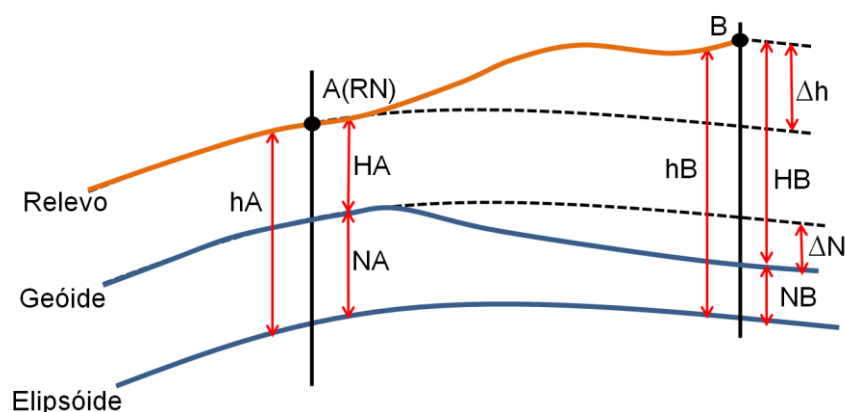


Figura 10 - Modelo de transporte de altitude ortométrica - método de diferença da ondulação geoidal.

Na Figura 10 são apresentadas as seguintes informações:

- h_A = altura elipsoidal de A(RN);
- h_B = altura elipsoidal de B;
- H_A = altitude ortométrica de A;
- H_B = altitude ortométrica de B;
- N_A = ondulação geoidal do MAPGEO em A;
- N_B = ondulação geoidal do MAPGEO em B;
- ΔN = diferença de ondulação geoidal;
- Δh = diferença de altura elipsoidal.

A formulação utilizada para obtenção da altitude ortométrica a partir da diferença de ondulação geoidal é:

$$H_B = H_A + \Delta h - \Delta N \quad (1)$$

onde:

$$\Delta h = h_B - h_A$$

$$\Delta N = N_B - N_A$$

Finalizado o rastreo GPS no modo relativo estático e seu processamento, foi aplicado o método de diferença da ondulação geoidal, obtendo-se as altitudes ortométricas dos marcos apresentadas Quadro 3.

Quadro 3 - Coordenadas geográficas dos marcos de apoio topográfico implantados na área de estudo.

MARCO	ALTITUDE ORTOMÉTRICA (m)
Oceano	0,657
Itaipu	0,670
Piratininga	0,334

Posteriormente, o topo das réguas foi nivelado aos marcos de apoio através de nivelamento geométrico de alta precisão. O mesmo procedimento foi adotado para nivelamento entre marcos.

Nesta etapa os seguintes equipamentos foram utilizados.

- 1 Nível Óptico Foif DSZ2-32x;
- 1 Tripé de alumínio para Nível Óptico;
- 1 Mira Graduada;
- 1 Nível de Cantoneira;
- Caderneta de Campo.

O transporte de altitude foi realizado com visadas horizontais, leitura da régua graduada (colocada verticalmente nos pontos a nivelar) e medição dos pontos de intersecção do plano horizontal traçado pelo nível. Na Figura 11 são apresentados os equipamento e acessórios utilizados no nivelamento geométrico das réguas maregráficas e entre os marcos de apoio topográfico.



Figura 11 - Nível Óptico Foif DSZ2-32x.

5. PROCESSAMENTO, ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE NÍVEL D'ÁGUA COLETADOS

Após o resgate dos equipamentos e download dos dados armazenados, foram aplicados rigorosos algoritmos de análise exploratória e consistência.

O primeiro passo na análise exploratória dos dados de nível d'água consistiu na análise visual das séries temporais adquiridas na sua forma bruta, objetivando a identificação dos padrões de marés e avaliação de acordo com a experiência da equipe de projeto e noção preconcebida dos processos hidrodinâmicos atuantes na região.

Posteriormente, foram realizados os seguintes procedimentos de qualificação para as séries temporais, quando aplicável:

- Identificação e exclusão de valores medidos enquanto o equipamento se encontrava fora d'água, antes e depois de sua instalação;
- Identificação e exclusão de valores medidos fora dos limites dos sensores;

- Identificação e exclusão de valores fora da faixa das condições ambientais. Para nível d'água essa faixa foi considerada de 0 m a 50 m e para temperatura, de 0° C a 40° C.
- Verificação da sequência dos horários de aquisição, comprovando o espaçamento e a ordem entre os intervalos medidos estão de acordo com a configuração do equipamento;
- Identificação e exclusão de dados subsequentes iguais;
- Identificação e separação das oscilações de alta frequência ao longo da série temporal através do uso de um filtro passa-alta do tipo média móvel, com o objetivo de identificar e eliminar dados espúrios na alta frequência (neste caso, frequências maiores que 1 h). Nesta etapa foram considerados como espúrios os dados que ultrapassaram os limiares de $\mu \pm 4\sigma$ (média mais ou menos quatro vezes o desvio padrão da amostra), restando, desta forma, um total de 99,9936% da informação original.

Os dados de pressão absoluta medidos com os equipamentos *Levellogger EDGE* e *HOBO U20L-004* foram compensados dos valores de pressão atmosférica medidos com o uso do *Barologger Edge*.

A partir da correlação das leituras de régua com os dados de nível d'água medidos pelos sensores, foram aplicados os valores de *offset* para referenciar a superfície da água ao Datum Vertical de Imbituba.

A série temporal de elevação do nível d'água medida no oceano, referenciada ao Datum Vertical de Imbituba, é apresentada na Figura 12. No painel superior é apresentada a maré total, no painel central é apresentada a maré meteorológica (frequência submareal) e no painel inferior a maré astronômica. A maré meteorológica foi separada do registro através da utilização de um filtro passa-baixa do tipo Godin (EMERY; THOMSON, 2001; FRANCO, 2009).

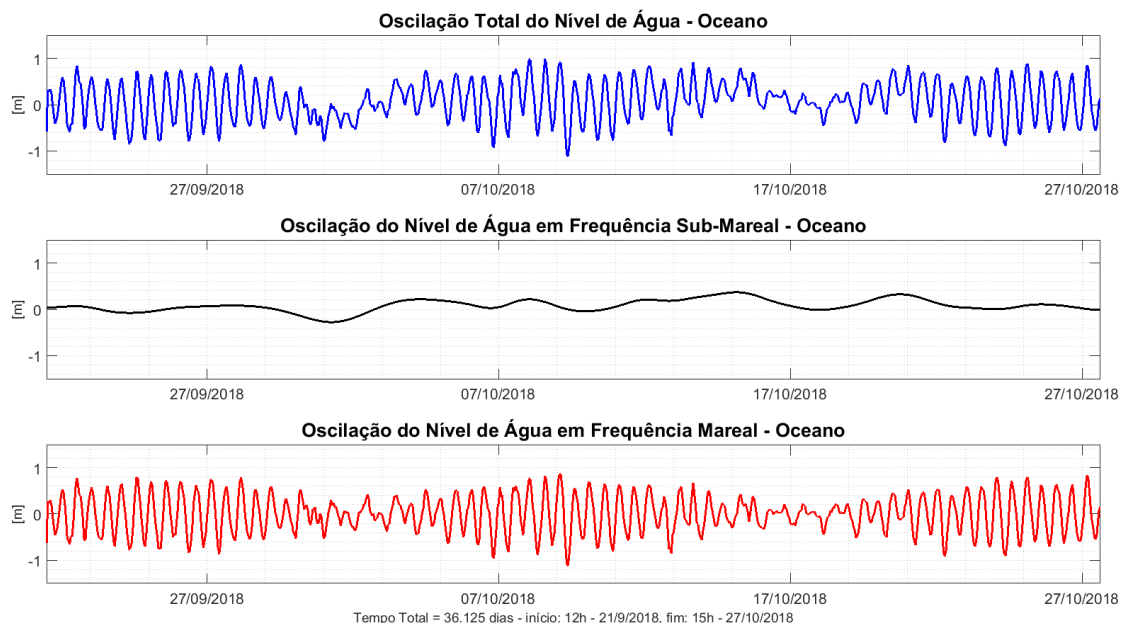


Figura 12 - Maré total (painel superior), maré meteorológica (painel central) e maré astronômica (painel inferior) medida no oceano entre os dias 21/09/2018 e 27/10/2018.

Na Figura 13 é apresentado o espectro de potência da maré medida no oceano, através do qual é possível identificar a energia contida em cada banda de frequência, dada em ciclos por dia (cpd).

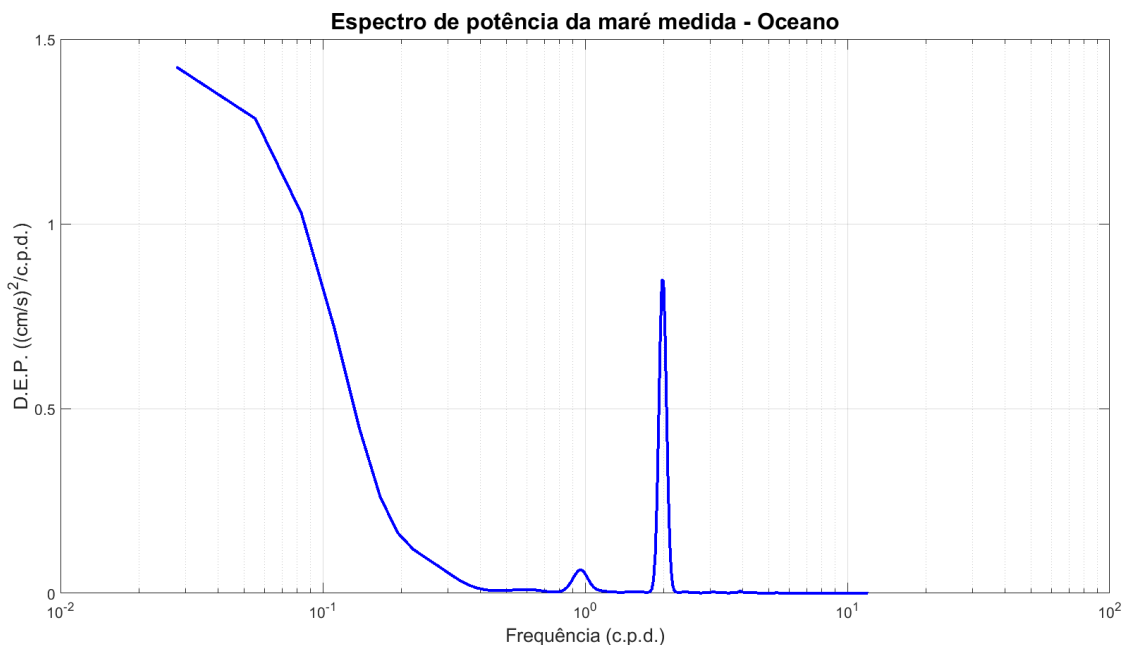


Figura 13 - Espectro de potência da maré medida no oceano.

Conforme pode ser observado na Figura 13, a maior parte da energia das marés no oceano está contida na banda de frequência de 2 ciclos por dia (semi-diurna), seguida, em ordem de magnitude, pelo pico de 1 cpd.

Observa-se, também, um pico de energia de frequência submareal, com período de oscilação de 7 a 9 dias, associado, principalmente, a efeitos meteorológicos, tais como passagens de sistemas frontais na costa do Rio de Janeiro.

A série temporal de elevação do nível d'água medida na Laguna de Itaipu, referenciada ao Datum Vertical de Imbituba, é apresentada na Figura 12. No painel superior é apresentada a maré total, no painel central é apresentada a maré meteorológica (frequência submareal) e no painel inferior a maré astronômica.

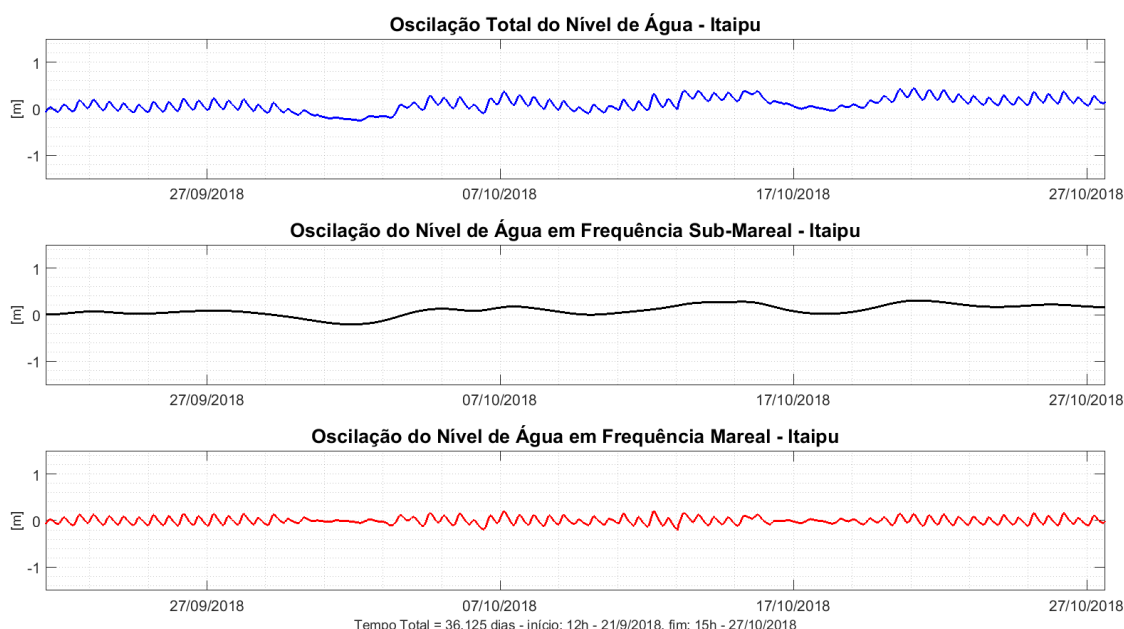


Figura 14 - Maré total (painel superior), maré meteorológica (painel central) e maré astronômica (painel inferior) medida na Laguna de Itaipu entre os dias 21/09/2018 e 27/10/2018.

Na Figura 13 é apresentado o espectro de potência da maré medida na Laguna de Itaipu, através do qual é possível identificar a energia contida em cada banda de frequência, dada em ciclos por dia (cpd).

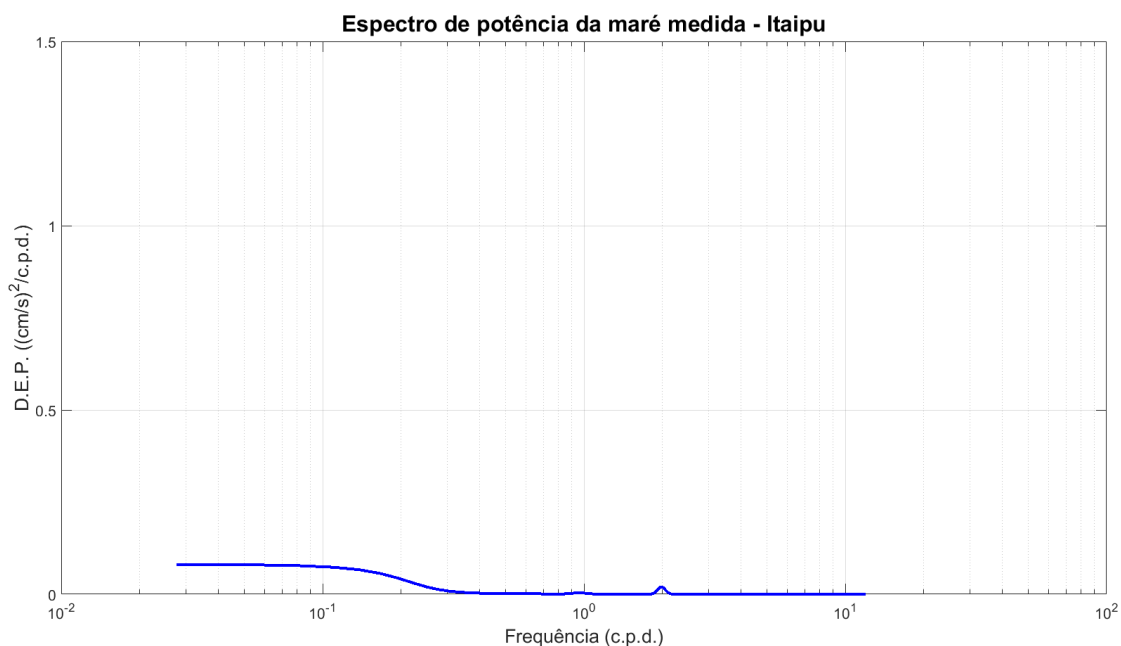


Figura 15 - Espectro de potência da maré medida na Laguna de Itaipu.

Conforme pode ser observado na Figura 15, a maior parte da energia das marés na Laguna de Itaipu está contida na banda de frequência de 2 ciclos por dia (semi-diurna), seguida, em ordem de magnitude, pelo pico de 1 cpd (já pouco perceptível no gráfico, uma vez que o eixo das ordenadas foi fixado, propositadamente, ao mesmo valor do gráfico gerado para os dados oceânicos, para auxiliar a interpretação e comparação).

Embora as marés na porção oceânica sejam caracterizadas por um padrão de oscilação senoidal quase perfeito, processos não-lineares de transformação da onda de maré em direção ao interior da Laguna de Itaipu produzem marés residuais de águas rasas (super-harmônicos), que se manifestam principalmente através da grande assimetria existente entre as marés vazantes e marés enchentes. Na Laguna de Itaipu, a duração média da maré enchente é de 4 h a 5 h e a duração média da maré vazante de aproximadamente 5 h a 6 h. Na porção oceânica, por sua vez, a duração da maré enchente e maré vazante são ambas de 6 h.

Transparece também, que a desembocadura da Laguna de Itaipu, obstruída pelos sedimentos provenientes da praia adjacente, funciona como um filtro natural de maré. Por efeito de atrito com o fundo, a maré tem boa parte da energia dissipada na medida em que se propaga para o interior da laguna.

Observa-se um pico de energia de frequência submareal, com período de oscilação de 7 a 9 dias, associado, assim como ocorre com a maré oceânica, a efeitos meteorológicos, tais como passagens de sistemas frontais na costa do Rio de Janeiro.

A série temporal de elevação do nível d'água medida na Laguna de Piratininga, referenciada ao Datum Vertical de Imbituba, é apresentada na Figura 12. No painel superior é apresentada a maré total, no painel central é apresentada a maré meteorológica (frequência submareal) e no painel inferior a maré astronômica.

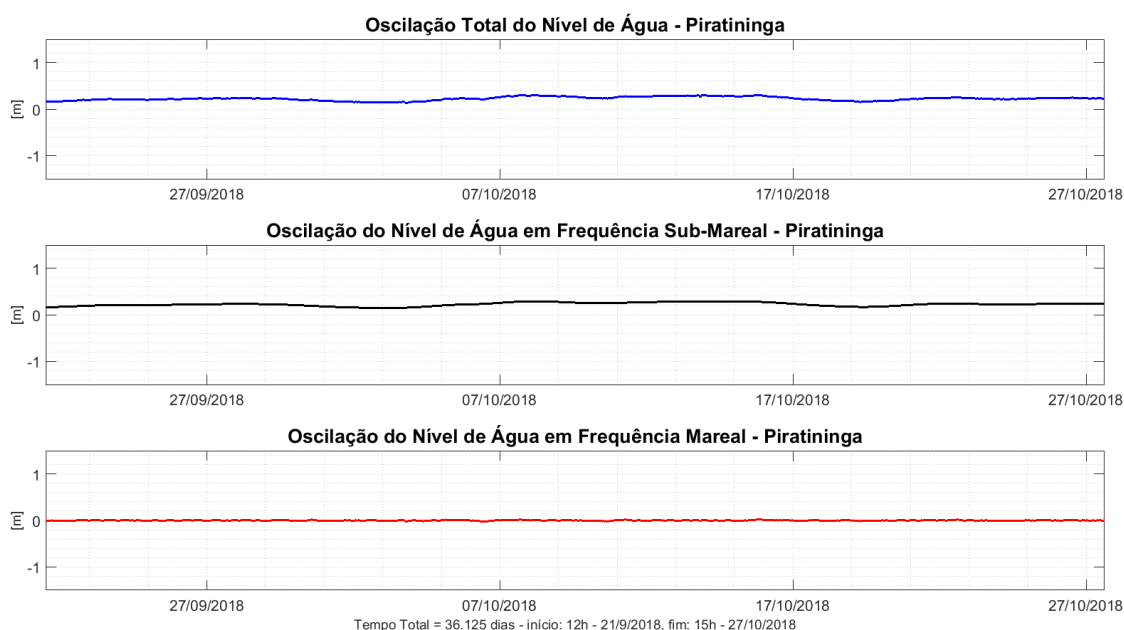


Figura 16 - Maré total (painel superior), maré meteorológica (painel central) e maré astronômica (painel inferior) medida na Laguna de Piratininga entre os dias 21/09/2018 e 27/10/2018.

Na Figura 13 é apresentado o espectro de potência da maré medida na Laguna de Piratininga, através do qual é possível identificar a energia contida em cada banda de frequência, dada em ciclos por dia (cpd).



Figura 17 - Espectro de potência da maré medida na Laguna de Itaipu.

Conforme pode ser observado na Figura 17, já não é possível identificar a energia das oscilações com frequência mareal. Assim como para o gráfico do espectro de potência gerado para os dados de nível d'água medidos na Laguna de Itaipu, o eixo das ordenadas foi fixado ao mesmo valor do espectro gerado para os dados medidos no oceano, de forma a facilitar a análise da dissipação da energia das marés que ocorrem pelas vias de comunicação das lagoas com o mar. No caso específico da Laguna de Piratininga, cuja comunicação com o mar se dá pelo Túnel do Tibau, a dissipação da energia das oscilações mareais é praticamente completa. Para que se possa observar a existência de uma oscilação mareal residual na frequência semi-diurna, foi gerado o espectro com eixo das ordenadas ajustado, apresentado na Figura 18.

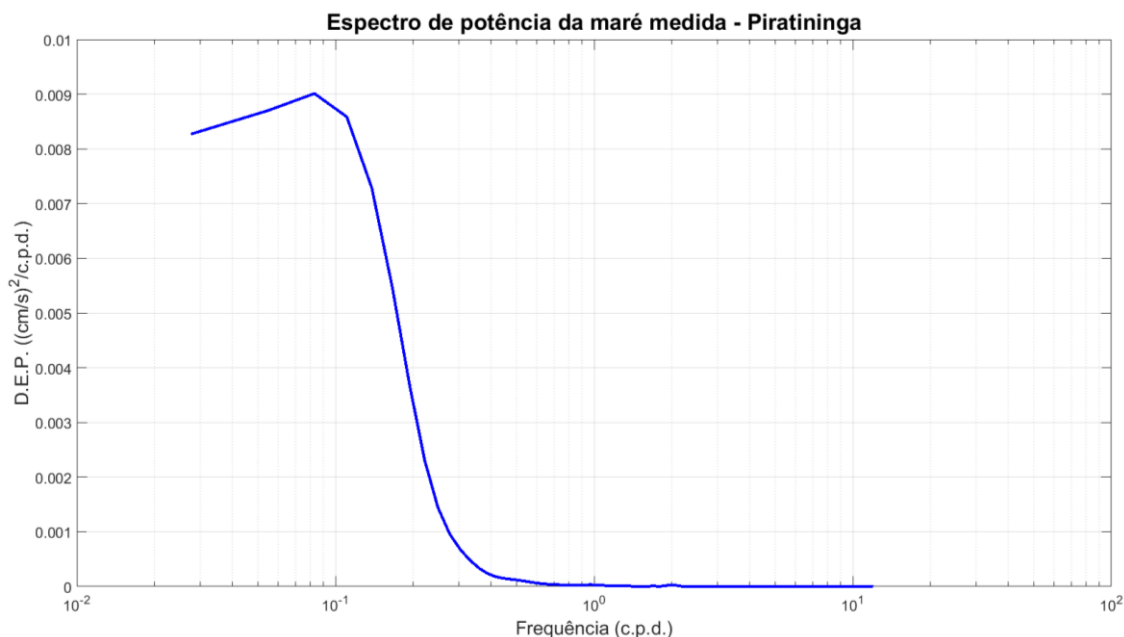


Figura 18 - Espectro de potência da maré medida na Laguna de Itaipu. O eixo das ordenadas foi ajustado para possibilitar a observação de uma oscilação mareal residual na frequência semi-diurna.

Na Figura 19 é apresentada uma sobreposição dos espectros de potência gerados a partir das séries temporais dos dados de nível d'água medidos no oceano, Laguna de Itaipu e Laguna de Piratininga.

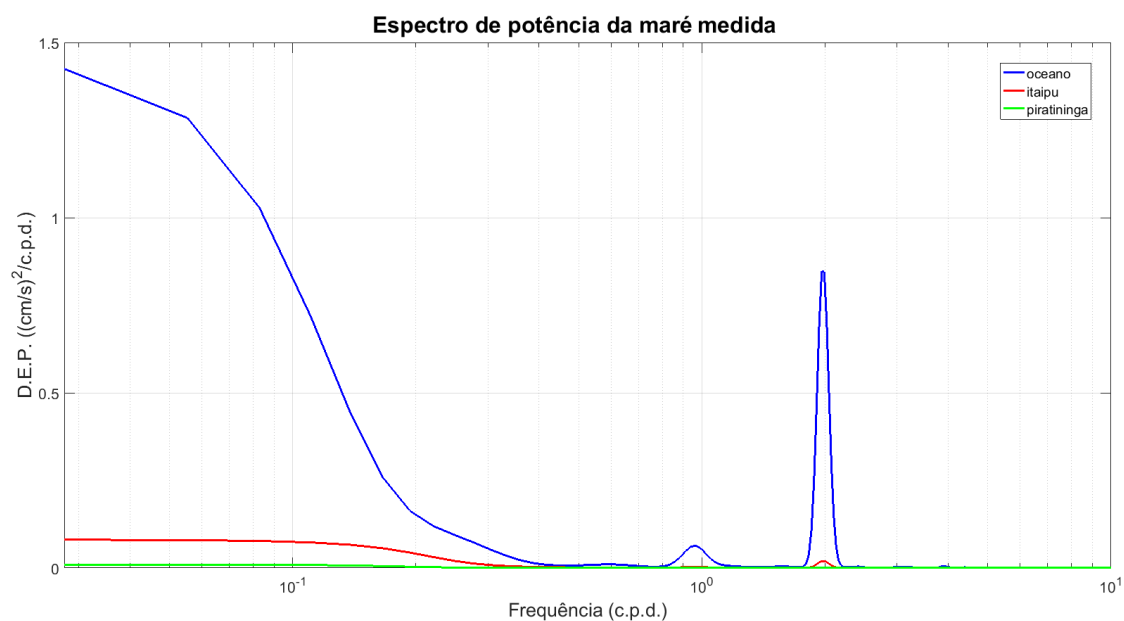


Figura 19 - Espectros de potência gerados a partir das séries temporais de nível d'água medido no oceano, na Laguna de Itaipu e na Laguna de Piratininga. Observa-se a dissipação da energia das oscilações de frequência mareal em ambos os corpos lagunares, principalmente na de Piratininga, onde o nível d'água total apresentou variações inferiores a 15 cm durante todo o período de medição.

É possível observar que as variações de nível d'água são maiores no oceano (maiores picos de energia), decrescem na Laguna de Itaipu (desembocadura fixada por molhes, obstruída por sedimentos oriundos da praia adjacente, porém ainda com comunicação direta ao oceano) e são ainda menores na Laguna de Piratininga (ligação com o mar dificultada, através de um canal mais longo e mais estreito: o Túnel do Tibau). A energia contida nas oscilações de nível d'água com frequência mareal torna-se praticamente nula nesta última laguna.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram realizadas medições de nível d'água nas lagoas de Itaipu e Piratininga e no oceano adjacente, com o objetivo de dar os subsídios necessários ao entendimento do comportamento hidrodinâmico do complexo lagunar e fornecer informações necessárias ao procedimento de calibração e validação de modelos hidrodinâmicos a serem implementados na região, em etapa subsequente.

Dados de nível d'água foram coletados pelo período contínuo e ininterrupto de 36,125 dias, utilizando dois sensores de pressão da marca *Solinst*, modelo *Levellogger Edge*, um sensor de pressão da marca *Onset*, modelo HOB0 U20L-004 e um sensor de pressão atmosférica da marca *Solinst*, modelo *Barologger Edge*, utilizado para realizar a compensação barométrica dos dados de nível d'água coletados.

Os dados de nível d'água foram referenciados à Rede Fundamental do IBGE através de procedimento envolvendo rastreamento GPS (*Global Positioning System*) e nivelamento geométrico de alta precisão.

A partir do uso de rigorosas rotinas computacionais, foi realizada a análise de consistência dos dados medidos e uma análise espectral, a partir da qual foi identificada a energia contida em cada banda de frequência de oscilação.

Os resultados das medições mostraram que as variações de nível d'água são maiores no oceano (maiores picos de energia), decrescem na Laguna de Itaipu (desembocadura fixada por molhes, obstruída por sedimentos oriundos da praia adjacente, porém ainda com comunicação direta ao oceano) e são ainda menores na Laguna de Piratininga (ligação com o mar dificultada, através de um canal mais longo e

mais estreito: o Túnel do Tibau). A energia contida nas oscilações de nível d'água com frequência mareal torna-se praticamente nula nesta última laguna.

Embora as marés na porção oceânica sejam caracterizadas por um padrão de oscilação senoidal quase perfeito, processos não-lineares de transformação da onda de maré em direção ao interior da Laguna de Itaipu produzem marés residuais de águas rasas (super-harmônicos), que se manifestam principalmente através da grande assimetria existente entre as marés vazantes e marés enchentes. Na Laguna de Itaipu, a duração média da maré enchente é de 4 h a 5 h e a duração média da maré vazante de aproximadamente 5 h a 6 h. Na porção oceânica, por sua vez, a duração da maré enchente e maré vazante são ambas de 6 h.

No caso específico da Lagoa de Piratininga, cuja comunicação com o mar se dá pelo Túnel do Tibau, a dissipação da energia das oscilações mareais é praticamente completa. As oscilações que ocorrem na frequência mareal possuem amplitudes insignificantes quando comparadas às frequências que ocorrem na frequência sub-mareal. Uma análise harmônica das marés foi realizada a partir da série temporal de dados medidos e as constantes possíveis de serem isoladas são apresentadas no quadro abaixo:

Quadro 4 – Análise harmônica das marés realizada a partir dos dados medidos.

NOME	CICLOS POR DIA	AMPLITUDE (CM)	FASE (°)
O ₁	1	0,29	359,6
M ₂	2	0,22	196,72
3MSK'N ₇	7	0,05	143,22
5MN ₁₂	12	0,02	219,45

Como pode ser observado, as amplitudes das componentes harmônicas são inferiores a 0,3 cm. O espectro de energia obtido a partir da série de dados de nível d'água medida na Laguna de Piratininga mostra energia insignificante na banda de frequência de 1 e 2 ciclos por dia, conforme apresentado na Figura 18.

Entendemos que, devido à complexidade hidrodinâmica do Complexo Lagunar de Itaipu-Piratininga, à necessidade de uma investigação pormenorizada de funcionalidade das obras hidráulicas ali implantadas, assim como à necessidade de se entender de forma acurada o mecanismo de troca de água que ocorre entre o mar e as

lagoas (e entre lagoas) em diversas condições oceanográficas, meteorológicas e hidrológicas, medições de nível d'água deveriam ocorrer de forma continuada, pelo período mínimo de 1 ano, com sensores instalados no interior de tubos tranquilizadores e em estações cujas estruturas físicas possibilitem a instalação e manutenção de réguas e garantam procedimentos de nivelamento preciso.

7. EQUIPE TÉCNICA

No Quadro 5 está relacionada a equipe técnica da empresa consultora responsável pela execução dos estudos referentes ao contrato SEXEC nº 07/2018.

Quadro 5 – Equipe responsável pela elaboração do Relatório Técnico.

PROFISSIONAIS	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	EXPERIÊNCIA	ATIVIDADE NO PROJETO
Tiago Finkler Ferreira	Biólogo MsC.. em Ecologia, PhD em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	Experiência comprovada em Projetos de Recuperação e Gestão de Ambientes Aquáticos, Monitoramento e Modelagem	Coordenação Geral, Modelagem de Qualidade da Água, Análise de Cenários, de Recuperação Ambiental e Análise de Macrófitas Aquáticas
Julia Costa	Engenheira Sanitária e Ambiental e MsC em Engenharia Sanitária e Ambiental	Experiência em estudos Saneamento Ambiental, Hidrologia, Modelagem Qualidade da Água	Coordenação Técnica, Hidrologia, análise de cargas e Modelagem Qualidade da Água
Rafael Bonanata	Oceanógrafo, MsC. em Oceanografia	Experiência em morfodinâmica costeira, modelagem oceânica e Hidrodinâmica	Coordenação Técnica, Análise morfodinâmica, Modelagem Oceânica e análise de estruturas hidráulicas
Rafael Schmitt	Biólogo, Limnólogo	Experiência em Limnologia, Análise Integrada e Gestão Ambiental	Limnologia, caracterização meio físico e análises Integradas
Eduardo Francisco da Silva Junior	Biólogo, PhD em Ecologia e Ictiologia	Experiência comprovada em estudos de ictiofauna lacustre	Análise Ictiofauna
Viviane Bernardes	Bióloga, PhD em Ecologia e Evolução	Experiência em estudos de plâncton lacustre	Análise de plâncton (Fito, zoo e ictioplâncton)
Leonardo Kleba Lisboa	Biólogo, PhD em Ecologia e Macrozoobentos.	Experiência em estudos de macrozoobentos lacustre	Análise de macroinvertebrados bentônicos

PROFISSIONAIS	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	EXPERIÊNCIA	ATIVIDADE NO PROJETO
Marlon Almeida dos Santos	Biólogo, PhD em Herpetofauna	Experiência em estudos de herpetofauna perlagunar	Análise da herpetofauna
Carlos Eduardo Simão	Engº Ambiental, MsC. em Engenharia Ambiental	Experiência em estudos de qualidade e poluição de água e sedimentos	Caracterização ambiental e modelagem de qualidade da água
Anna Dalbosco	Oceanógrafa, PhD em Engenharia Ambiental	Experiência em análises ambientais e modelagem hidrodinâmica	Caracterização ambiental e modelagem hidrodinâmica
Kleber Nunes	Geógrafo	Experiência em geoprocessamento e produção de mapas digitais	Geoprocessamento, mapas

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARNEIRO, M. E. R.; BARROSO, I. V.; RAMALHO, N. M.; AZEVEDO, C.; KNOPPERS, B. A.; KJERFVE, B.; KIRSTEIN, K. O. Diagnóstico ambiental do Sistema Lagunar Piratininga/Itaipu, Niterói, RJ. Parte II: hidroquímica. *In*: III simpósio de ecossistemas da costa brasileira: 196-203, 1993.

EMERY, W. J.; THOMSON, R. E. 2001. Data analysis methods in physical oceanography. Elsevier, Amsterdam, 638 p.

FONTENELLE, T. H.; CORRÊA, W. B. Urbanização efetiva e densidade de domicílios na Região Oceânica de Niterói (RJ) entre 1976 e 2010. *Caminhos de Geografia*, v.14, n. 45 p 172-182, 2014.

FONTENELLE, T. H.; CORRÊA, W. B. Uso e Cobertura do Solo (1976-2011) e os Desafios do Planejamento Urbano-Ambiental Integrado na Região Oceânica de Niterói. *Revista GeonORTE, Edição Especial*, v. 3, n. 4, p. 1345-1357, 2012.

FONTENELLE, T. H.; CORRÊA, W. B. Impactos da Urbanização no Espelho D'água dos Sistemas Lagunares de Itaipu e de Piratininga, Niterói (RJ), Entre 1976 e 2011. *Boletim de Geografia*, v. 32, n.2, p. 150-157, 2014.

FRANCO, A.S. 2009. Marés: Fundamentos, Análise e Previsão. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Niterói, Brasil.

GODIN, G. 1972. The analysis of tides. University of Toronto Press - Canadá.

MIZUBUTI, Satie. **O Movimento associativo de bairro em Niterói (RJ)**. 291 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

RODRIGUES, Rodrigo Carvalho. **Caracterização da cobertura vegetal e do uso do solo da bacia hidrográfica do sistema lagunar Piratininga-Itaipu, Niterói – RJ**. 55 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2004.

SALANDÍA, Luís Fernando Valverde. **O papel da estrutura fundiária, das normativas urbanas e dos paradigmas urbanísticos na configuração espacial da Região Oceânica de Niterói, RJ**. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROURBE). Rio de Janeiro, 2001.

SEMADS – Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental Rio de Janeiro. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Estado do Rio de Janeiro. Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ. 2011.