

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

JULIA GIL DOS SANTOS

OBSERVAÇÕES DA MARÉ AO REDOR DA ILHA DE SANTA CATARINA.

**Florianópolis, SC
2016**

JULIA GIL DOS SANTOS

OBSERVAÇÕES DA MARÉ AO REDOR DA ILHA DE SANTA CATARINA.

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Professor orientador: Dr. Antonio Fernando Härter Fetter Filho.

**Florianópolis, SC
2016**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente estiveram envolvidos nessa etapa da minha vida. Acredito que toda finalização nos permite reavaliar e até mesmo reviver os melhores e piores momentos de toda a jornada. Assim, foram muitas as contribuições das quais sou grata e que, mesmo que não sejam destacadas nesses breves parágrafos, não foram e nem serão esquecidas.

Primeiramente agradeço à minha família. Sem vocês nada disso seria possível. Aos meus pais, por estarem sempre comigo e me ensinarem a ser uma pessoa melhor todos os dias. Sem vocês eu não seria nada e lhes dedico essa conclusão. Ao meu irmão amigo e amigo irmão, Thiago. Irmãos por casualidade e amigos por opção, agradeço sempre por tê-lo ao meu lado. Da mesma forma, agradeço a minha segunda família, aquela que escolhemos, que são meus amigos de infância de Londrina, amigos esses de ontem, hoje e sempre! Famílias, vocês são o meu norte. Se estive fisicamente só, nunca me senti assim graças a vocês!

Quero agradecer especialmente ao meu professor e orientador Dr. Antonio F. H. Fetter Filho, pelos ensinamentos, paciência, palavras e, sobretudo, por estar comigo nessa etapa final. Ao pessoal do Laboratório de Dinâmica dos Oceanos, pela ajuda no Matlab, pelas conversas amigas e os muitos momentos compartilhados à base de café. Obrigada Fernando Ribeiro e Fernando Sobral pela ajuda e por esses momentos. Agradeço ao professor Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein e a equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira pela disponibilização dos dados usados nesse trabalho. Aproveito para agradecer a todos que me ajudaram com as horas de embarque, em que os professores foram incríveis! Novamente obrigada ao professor Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein pela ajuda e ao Jorge Souza e Rodrigo Cavalheiro da CB&I pela disponibilidade, paciência e simpatia nesse processo. Gostaria de agradecer também ao Marcos Antônio Pires, secretário do curso da oceanografia, por estar sempre disposto a ajudar e, por fim, ao professor Dr. Felipe M. Pimenta e ao Dr. Rodrigo Barletta pela disponibilidade na avaliação desse trabalho.

Por fim, agradeço o pessoal da Oceanografia, com os quais dividi momentos sensacionais e que ficarão na memória para sempre. Será um prazer tê-los como companheiros de profissão e amigos para a vida. Como disse o poetinha "... boas lembranças são marcantes, e o que é marcante nunca se esquece". E claro, por saber que vocês não fazem ideia da referência "poetinha", entenda-se Vinícius de Moraes! Obrigada a todos, mais uma vez!

"I have always believed, and I still believe, that whatever good or bad fortune may come our way we can always give it meaning and transform it into something of value."

Hermann Hesse

RESUMO

Esse estudo teve como objetivo avaliar as variações de nível do mar em três ambientes costeiros distintos da Ilha de Santa Catarina, através de dados obtidos pelas estações maregráficas da Beira Mar Norte (baía), Praia da Armação (praia exposta) e Barra da Lagoa - Lagoa da Conceição (laguna). Foi investigado também a atenuação das oscilações de nível do mar pelo canal da Barra da Lagoa, que liga a Lagoa da Conceição ao mar aberto, cujos resultados foram comparados aos estudos pretéritos de Godoy *et al* (2008) e Pereira (2004), com foco maior nas oscilações de baixa frequência. Para tanto, foram identificados os principais componentes harmônicos pela ferramenta T_TIDE no software MATLAB®, estimada as marés astronômica e meteorológica para todas as séries temporais e, em seguida, foi verificado o domínio das frequências dos principais tipos de marés. A partir do monitoramento de nível, os ambientes foram classificados como de micromaré. Foram encontrados na baía, praia e laguna um total de 27, 29 e 20 constituintes harmônicos significativos, respectivamente. Os harmônicos mais energéticos foram os de alta frequência M2, S2 e O1 para baía e praia, enquanto o harmônico de baixa frequência MM foi o mais energético para a laguna. De todos os harmônicos encontrados em cada ambiente, 40% a 45% foram os do tipo de águas rasas, seguidos pelos tipos semidiurnos e diurnos para a praia e laguna e o inverso para a baía. Em relação ao percentual de elevação dos harmônicos na elevação de nível na maré astronômica estimada, o tipo de alta frequência semidiurna é responsável por mais de 50% da elevação na baía e praia, enquanto que, na laguna, as baixas frequências do tipo longo período são responsáveis por cerca de 40%. Pelo número de forma, os três ambientes foram considerados de maré mista, com predominância semidiurna com desigualdade diurna. Não houve relação dos picos máximos e mínimos encontrados com as marés de sizígia e quadratura apenas na laguna. Verificou-se que para baía e praia as tendências de oscilação seguem o padrão de oscilação da maré astronômica, enquanto que para a laguna esse padrão segue o da maré meteorológica. Através do Coeficiente de Pearson constatou-se correlação linear positiva entre os dados medidos e as marés astronômica e meteorológica, onde a maré meteorológica se sobressai à astronômica em todas as estações, sendo essa relação moderada para a praia e fraca para a baía e laguna quando se tratando de maré astronômica e, forte para baía e praia e muito forte para a laguna, em se tratando da maré meteorológica. As principais frequências encontradas pelas análises espectrais apontaram para a baía e praia a dominância do tipo de alta frequência semidiurna, seguidas do tipo de baixa frequência longo período e meteorológica e de alta frequência diurna, com bastante expressão do tipo de alta frequência água rasa terci e quarto-diurnas. Na laguna, houve predominância das baixas frequências, onde foi possível observar a atenuação de todas as bandas de alta frequência e menor atenuação das de baixa frequência quando comparadas aos resultados encontrados em mar aberto. Os harmônicos estatisticamente significantes que chegam dentro do corpo lagunar são atenuados pelo canal em 94%. Os harmônicos de baixas frequências foram atenuadas em 48% enquanto que os de alta frequência entre 94% a 97%. A contribuição energética da componente meteorológica aumentou em 6% durante o mês de julho de 2014 quando comparada ao mês de janeiro de 2014 dentro do corpo lagunar, o que sugere o acréscimo de energia para as baixas frequências no sistema devido à ação da maré meteorológica com a entrada de frentes frias.

Palavras-chave: Maré astronômica, maré meteorológica, harmônico de maré, tipo de maré, variação de nível do mar, análise harmônica, análise espectral, atenuação de nível.

ABSTRACT

The main goal of this study is to evaluate sea level variability in three different coastal environments at the Santa Catarina Island, using data from tidal gauge stations at Beira Mar Norte (bay), Praia da Armação (exposed beach) and Lagoa da Conceição (choked lagoon). It was also investigated the attenuation of sea level oscillations at the Barra da Lagoa's canal – which connects the lagoon to the open sea – and the results were compared with previous studies by Godoy *et al* (2008) and Pereira (2004), focusing at the low-frequencies oscillations. The main harmonic components were identified using T_TIDE tool in Matlab to estimate the astronomical and meteorological tide to all time series and it was also estimated the main frequencies domains of the main tidal types. Considering the sea level data, all three environments were classified as microtidal. It was found 27, 29 and 20 statistically significant harmonics constituents to the bay, to the beach and to the lagoon, respectively. The main energetic high frequency harmonics were M2, S2 and O1 to the bay and to the beach and the low frequency harmonic MM was the most energetic harmonic to the lagoon. Considering all harmonics that were found about 40% to 45% were shallow water harmonics followed by semidiurnal and diurnal harmonics to the beach and to the lagoon and the opposite for the bay. Regarding the percentage of elevation caused by individual harmonics types on the sea level elevation at the astronomical tide, the high frequency semidiurnal type was responsible of more than 50% of the elevation while the low-frequency long period type was responsible of 40% of the elevation at the lagoon. The form number classified all the coastal environments as mixed, with semidiurnal dominance and diurnal inequalities. There was no relationship between the maximum and minimum peaks with the spring and neap tide but only for the lagoon. Sea level oscillations at the bay and at the beach follow the astronomical tide patterns but at the lagoon, the oscillations follow the meteorological tide patterns. Using the Pearson coefficient, it was shown a positive linear correlation between the collect data and the astronomical and meteorological tides where the meteorological tide exceeded astronomical tide at all the environments. This relationship between collect data and astronomical tide was moderate to the beach and weak to the bay and the lagoon and when compared to the meteorological tide the relationship was strong to the beach and to the bay and very strong to the lagoon. The spectral analysis found the main frequencies domains as the high frequencies semidiurnal type, followed by low frequencies long period, subtidal type, and high frequency diurnal type to the bay and beach – where the high frequency shallow water terdiurnal and quarter diurnal type were present. The predominant type at the lagoon were the low frequencies where it was shown a significant attenuation of all high frequencies and less attenuation of low frequencies inside the lagoon when compared with open sea. It was observed that 94% of all statistically significant harmonics constituents that entered at the lagoon were attenuated. The low frequencies harmonic constituents was attenuated in 48% while the high frequencies harmonics were attenuated in 94% to 97%. The subtidal component increased 6% on the energetic participation in the sea level elevation at winter- July of 2014 when it compared to the summer - January of 2014 inside the lagoon. This results suggest an increase of the low frequencies energy due to subtidal forcing.

Keywords: astronomical tide, meteorological tide, harmonic component, tidal types, sea level oscillations, harmonic analysis, spectral analysis, tide attenuation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Localização das estações maregráficas das áreas de estudo. Datum: Sirgas 2000.....	16
Figura 2:	Área de estudo da E.M Barra da lagoa e canal da Barra da Lagoa, que liga a laguna ao mar aberto. Datum: Sirgas 2000.....	16
Figura 3:	Localização das estações maregráficas utilizadas no estudo na Ilha de Santa Catarina.....	25
Figura 4:	Direção e intensidade dos ventos ($m.s^{-1}$) na região da Ilha de Santa Catarina para Janeiro de 2013 a dezembro de 2015. A direção das barras segue a convenção meteorológica e aponta a direção de onde vem os ventos	29
Figura 5:	Séries temporais em cada estação com os níveis médios depois do tratamento dos dados com a retirada dos dados espúrios, aplicando o intervalo de confiabilidade de ± 3 desvios padrões representado pelas linhas vermelhas e a resultante média diária de ventos através dos dados obtidos por reanálise.....	31
Figura 6:	Diagrama de direção e intensidade dos ventos para o período de 10/04/2014 a 30/04/2014.....	32
Figura 7:	Variação de nível e variação de nível médio da maior série contínua (01/11/2013 a 31/01/2014) da estação maregráfica da Beira Mar Norte, com os picos máximos e mínimos destacados.....	33
Figura 8:	Variação de nível e variação de nível médio da maior série contínua (18/12/2013 a 28/03/2014) da estação maregráfica de Armação, com os picos máximos e mínimos destacados.....	34
Figura 9:	Variação de nível e variação de nível médio da maior série contínua (18/12/2013 a 28/03/2014) da estação maregráfica da Barra da Lagoa, com os picos máximos e mínimos destacados.....	35
Figura 10:	Ventos predominantes com duração de 3 dias durante os valores de picos máximos e mínimos para cada Estação.....	35
Figura 11:	Maré astronômica estimada pelo método dos mínimos quadrados para as estações representada pela linha vermelha juntamente com os dados medidos em azul.....	42
Figura 12:	Variação do nível para as maiores séries contínuas nas Estações Maregráficas Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa (Lagoa da Conceição): medido (linha azul), astronômico (linha vermelha inferior) e meteorológico (linha vermelha superior)	42
Figura 13:	Análise espectral do nível do mar para as estações. As figuras representam as análises espectrais para cada estação com a série durante todo espaço	44

temporal, em dias. As principais bandas de frequência estão apontadas nos gráficos: longo período (LP), diurna (D), semidiurna (SD), terci-diurna (TD), quarto-diurna (QD) e águas rasas (AR).....

- Figura 14:** Análise espectral do nível do mar para as estações maregráficas. Os símbolos BF, M, D, SD, AR referem-se respectivamente às bandas de baixa frequência, meteorológica, diurna, semidiurna, e águas rasas. TD e QD referem-se a frequência dos harmônicos de águas rasas terci e quarto-diurnos..... 45
- Figura 15:** Estimativa espectral antes e depois da remoção da maré astronômica..... 47
- Figura 16:** Análise espectral do nível da Lagoa da Conceição para os meses de Janeiro e Julho de 2015. Os símbolos M, D, SD, Sw referem-se respectivamente às bandas de: baixa frequência, meteorológica, diurna, semidiurna, e águas rasas..... 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Localização das estações maregráficas utilizadas no estudo.....	25
Tabela 2:	Número de dias totais e das maiores séries contínuas usados nas análises em cada estação	27
Tabela 3:	Tipos de maré, frequências e períodos descritos por (Zavialov et al, 2002) adotados para a estimativa da partição energética derivada da análise espectral.....	28
Tabela 4:	Relação dos valores de nível médio, variação da maré, máximos, mínimos encontrados nas séries temporais encontrados das três estações maregráficas, em metros.....	33
Tabela 5:	Resultado do pacote T_TIDE dos componentes harmônicos significativos, frequências, amplitudes e fases	37
Tabela 6:	Relação entre os tipos de marés astronômica, seu porcentual de ocorrência, sua implicância na elevação total (somatório das amplitudes devido aos harmônicos) e o porcentual de influência de cada espécie de maré dentro da elevação total, utilizando os resultados apontados pelo T_TIDE e pelo Método dos Mínimos Quadrados para todas as estações maregráficas.....	39
Tabela 7:	Parâmetros descritores da maré astronômica considerando as amplitudes encontradas para a maior série contínua e para toda a série. O número de forma é adimensional, e os demais valores estão em metros.....	40
Tabela 8:	Contribuição energética estimada das marés de sizígia e quadratura durante os picos máximos e mínimos para a baía e Praia da Armação, para as maiores séries contínuas.....	41
Tabela 9:	Valores do coeficiente de correlação de Pearson entre os valores de nível com as marés astronômica e meteorológica para cada estação maregráfica e para todo o período temporal.....	43
Tabela 10:	Contribuição energética derivada da análise espectral de nível para as estações maregráficas distribuídas de acordo com quatro bandas de frequência (Zavialov et al, 2002)	45
Tabela 11:	Porcentual de atenuação dos tipos de maré astronômica pelo canal da Barra da Lagoa para o período de 18/12/2013 a 24/02/2014.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

f	Força de atração entre as massas
G	Constante gravitacional universal ($6,66 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-2}$)
m1	Massa hipotética 1
m2	Massa hipotética 2
D	Distância entre m1 e m2
η	Modelo de maré/ constituinte harmônico
A	Amplitude da constituinte (que determina sua importância relativa)
ω	Frequência da constituinte (usualmente dada em graus por hora e conhecida a partir do desenvolvimento harmônico da força geradora da maré)
t	Tempo
Φ	Fase da constituinte numa dada origem temporal
M2	Lunar semidiurna principal
S2	Solar semidiurna principal
N2	Grande constituinte semidiurna elíptica lunar
O1	Componente principal lunar diurna
K1	Constituinte principal lunar e solar
P1	Componente principal solar diurna
M4	Componente principal lunar quarto-diurna
MS4	Componente quarto-diurna de águas rasas
M3	Componente principal lunar teri-diurna
MN4	Constituinte quarto-diurna.
MK3	Componente terci-diurna de águas rasas
MM	Constituinte mensal
LP	Banda de frequência de longo período
D	Banda de frequência diurna
SD	Banda de frequência semidiurna
TD	Banda de frequência terci-diurna
QD	Banda de frequência quarto-diurna
AR	Banda de frequência de águas rasas

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	GERAL	14
2.2	ESPECÍFICOS	14
3	ÁREA DE ESTUDO	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
4.1	MARÉS	17
4.2	CONSTITUINTES E CONSTANTES HARMÔNICOS	19
4.3	ANÁLISE HARMÔNICA	22
4.4	ANÁLISE ESPECTRAL	23
4.5	ATENUAÇÃO DA MARÉ.....	23
5	METODOLOGIA.....	24
5.1	ORIGEM E PROCESSAMENTO DOS DADOS	24
5.1.1	DADOS DE NÍVEL	24
5.1.2	DADOS DE VENTO.....	26
5.2	ANÁLISE HARMÔNICA	26
5.3	ANÁLISE ESPECTRAL	27
5.4	COMPONENTE METEOROLÓGICA E EFEITOS NÃO LINEARES	28
5.5	ATENUAÇÃO DA MARÉ.....	28
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1	REGIME DOS VENTOS.....	29
6.2	SÉRIES TEMPORAIS.....	29
6.3	ANÁLISE HARMONICA	36
6.4	ANÁLISE ESPECTRAL	43
6.5	ATENUAÇÃO DA MARÉ.....	47
7	CONCLUSÃO	50
8	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de um ambiente costeiro se dá em um conjunto de variáveis, entre elas, a variação de nível do mar que são evidentes junto à costa. Simó *et al* (2004) cita como processos naturais da dinâmica praias os agentes naturais transformadores, tais como, ondas, correntes, marés e ventos. Sabe-se que o fenômeno de maré é responsável pela oscilação periódica do nível médio do mar e trata-se de um fenômeno que acontece basicamente pela interação entre os astros Terra, Lua e Sol (maré astronômica) somadas a fatores meteorológicos (maré meteorológica). Em relação à maré astronômica, cada interação entre os astros gera um constituinte de maré ou constituinte harmônico que compõem de forma determinística essas oscilações e cuja identificação é proposta pela análise harmônica para um dado momento e região. Já os fatores meteorológicos tais como a ação dos ventos e pressão atmosférica, atuam no oceano de forma aleatória e de difícil precisão devido à natureza instável dos fenômenos atmosféricos.

Quando os harmônicos chegam à costa, fatores como a morfologia local são adicionados à questão comportamental da onda de maré. Pelo fato de cada harmônico ser uma onda, pode ocorrer pontos onde não há variação de nível (pontos anfidrômicos) ou ainda, onde os mesmos possuem amplitudes potencializadas ou minimizadas por superposição de onda, como em ambientes semifechados de estuários, baías e lagunas. Por serem ambientes costeiros distintos, baías, mar aberto e lagunas possuem comportamentos hidrodinâmicos diferentes e respondem de formas diferentes à onda de maré e seus componentes. Assim, cada componente expressará uma contribuição energética intrínseca na variação de nível para cada um desses ambientes. Em uma laguna costeira, onde há um canal de comunicação entre a laguna e o mar aberto, o mesmo pode servir como filtro atenuador das oscilações de nível que chegam ao interior da laguna e, assim, influenciar os ambientes do canal e de seu interior.

Estudos pretéritos apontam que canais de comunicação funcionam como filtro atenuador das ondas provenientes de mar aberto em direção ao interior da laguna. Godoy *et al* (2008) e Pereira (2004) encontraram para a Lagoa da Conceição, na ilha de Santa Catarina, valores de atenuação total da onda de maré na ordem de 84% e 90%, respectivamente. Godoy *et al* (2008), através de análise espectral do nível meteorológico, demonstrou que ocorre maior influência dos componentes de baixa frequência na hidrodinâmica lagunar e que assim o canal funciona como filtro para componentes harmônicos mais energéticos. Fernandes *et al* (2004) concluiu, assim como Godoy *et al* (2008), que as oscilações de submaré (frequências mais baixas que a banda de maré) são menos atenuadas e se propagam mais adiante no corpo de água lagunar da Lagoa dos Patos - RS. Da mesma forma, outros estudos, como os realizados por Kjerfve *et al* (1990) e Kjerfve and Knoppers (1991), investigaram a capacidade de filtragem por canal de comunicação da Laguna de Guarapina, no Brasil e observaram

uma forte atenuação do sinal de maré. De acordo com os autores, a amplitude das constantes de marés diurnas e de alta frequência, predominantes e adotadas como referências, foram reduzidas de 1-11% das amplitudes das constituintes em mar aberto, enquanto as de baixa-frequência foram pouco afetadas. Kjerfve et al (1996) também encontraram forte atenuação da energia da maré na Lagoa Araruama, também no Brasil.

O conhecimento da maré é de extrema importância para a região costeira. A maré é responsável pelos processos de mistura, transporte de sedimentos e renovação das águas em diversos sistemas estuarinos (Miyao & Harari, 1989). O conhecimento dos harmônicos atuantes em uma região costeira permite a previsão da variação do nível do mar e é amplamente utilizado para isso. O conhecimento e previsão de marés, bem como as correntes de maré, têm grande influência sobre o planejamento para navegação segura em águas rasas como, por exemplo, canais e regiões de portos (Bento *et al*, 2006). Além da importância para a navegação, o conhecimento das variações de nível é de fundamental importância para o planejamento urbano tendo em vista os inúmeros casos com problemas de erosão costeira, normalmente ligados às marés de sizígia e eventos de tempestade (storm surge), inundações e planejamento urbano inconsistente, o que gera prejuízos milionários todos os anos a diversos países como os estudos apontados por Araújo (2008) e Simó *et al* (2004).

Esse estudo tem como objetivos a verificação das oscilações de nível das regiões localizadas na Baía Norte na ilha de Florianópolis (baía), Praia da Armação (mar aberto) e Lagoa da Conceição (laguna), através de análises harmônica e espectral, com o intuito de caracterizar e comparar os principais constituintes harmônicos e domínio de frequências encontrado nos ambientes costeiros distintos. Da mesma forma, comparar os resultados da atenuação de nível do mar pelo canal da Barra Lagoa da Conceição – Florianópolis, SC – ao estudo pretérito de Godoy *et al* (2008) e Pereira (2004), com ênfase no comportamento dos harmônicos de águas rasas e baixas frequências.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar as variações de nível de ambientes costeiros distintos da Ilha de Santa Catarina incluindo a atenuação das oscilações de nível na Lagoa da Conceição e no canal de Barra da Lagoa.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Realizar análise preliminar das séries temporais para a remoção de valores espúrios e controle de qualidade dos dados.
2. Realizar as análises harmônicas para os ambientes distintos através das constantes harmônicas obtidas pelo T_Tide e obter os sinais das marés astronômica e meteorológica.
3. Analisar o domínio das frequências em cada série temporal afim de caracterizar os sinais mais energéticos observados.
4. Verificar se há sazonalidade do domínio das frequências dos tipos de maré para a laguna, com destaque para a banda de baixa frequência/meteorológica.

3 ÁREA DE ESTUDO

Segundo Vellozo & Alves (2004) a costa brasileira apresenta um regime de maré predominantemente semidiurno, com ocorrência esporádica de maré semidiurna com desigualdades diurnas a partir da região sudeste em direção ao sul, e maré mista apenas no extremo sul do país, com forte componente meteorológica.

A ilha de Santa Catarina está localizada na região Sul do Brasil, no setor central do litoral do Estado de Santa Catarina, compreendida entre as latitudes de 27°22' e 27°50' S e as longitudes de 48°20' e 48°35' W. Possui uma área total de aproximadamente 399 km², 52,5 Km de comprimento, 18 km de largura e 174,3 km de perímetro envolvente, estando separado do continente pelas baías norte e sul (Simó *et al*, 2004). A variação de marés na Ilha de Santa Catarina está classificada, de acordo com Davies (1964), em regime de micromaré, com amplitude máxima de 1,2m, em condições de sizígia e regime semidiurno. Trucollo (1998) sustenta que as maiores variações do nível do mar na região ocorrem devido a marés meteorológicas, pois podem provocar uma elevação de no máximo um metro acima da maré astronômica e ocorrer na frequência de 10 dias.

As Baías da Ilha de Santa Catarina, localizada entre 27°20' S e 27°50' S, configuram um sistema polimixoalino, semi-fechado, com 50 km de comprimento no sentido N-S e profundidade média inferior a 5m. Estranguladas na região central, distinguem-se em dois embaixamentos: as baías Norte e Sul, que são conectados ao mar adjacente e estão

localizadas em uma região de micromaré. Pelos extremos das baías, propagam-se as ondas de maré em sentidos opostos e convergentes até se encontrarem no setor centro-sul do sistema, formando o anti-nó da onda estacionária de maré (Prudêncio, 2003). A bacia hidrográfica desta baía apresenta área de 1767km², dos quais 617km² drenam para a Baía Norte e 1149 km² para a Baía Sul (Fonseca *et al*, 2010). Melo *et al* (1997) concluíram, através de um modelo numérico, que a Baía de Florianópolis apresenta fluxos bastante assimétricos de maré, onde as correntes na Baía Sul diferem bastante da Baía Norte.

A Praia da Armação está localizada no município de Florianópolis – SC, entre as coordenadas geográficas 27°45'02'' S/48°30'03''W e 47°43'24''S/48°30'15''W, na parte Sul da Ilha de Santa Catarina. Delimita-se ao norte pelo promontório rochoso do Morro das Pedras e na porção sul pelo tómbolo formado entre a praia e a Ilha das Campanhas, e pelo Rio Quinca Antônio (Sangradouro da Lagoa do Peri) detonando uma enseada em espiral (Mazzer *et al*, 2008). Apresenta uma extensão de 3500m, orientada no sentido N-S, e apresentando estágio reflexivo ao norte passando a intermediário na porção central, e a dissipativo ao sul (Abreu de Castilhos, 1995). As marés astronômicas na área são, segundo a classificação de Davis (1964), do tipo micromarés com regime semidiurno, cujas amplitudes apresentam valores de 1,4m para o Porto de Florianópolis, de acordo com dados da Diretoria de Hidrografia Navegação.

A Lagoa da Conceição localiza-se na porção leste da Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis, estado de Santa Catarina – Brasil. De origem costeira, a Lagoa da Conceição é o corpo d'água de maior extensão na Ilha de Santa Catarina e situa-se entre os paralelos de 27°30' e 27°37' de latitude sul e entre os meridianos de 48°25' e 48°29' de longitude a oeste de Greenwich (Godoy *et al*, 2008). A Lagoa da Conceição é ligada ao mar através de um canal longo e estreito. Seis meandros de diferentes extensões, ângulos e larguras se estendem pelos 2,8 km que ligam o corpo lagunar à plataforma continental adjacente, na praia da Barra da Lagoa (Pereira, 2004). Devido ao seu comprimento, este canal reduz o efeito das marés no interior da Lagoa. O fluxo no canal foi garantido em 1982, com a retificação, dragagem e com a construção de molhes na sua desembocadura no mar. Antes destas retificações era natural que a barra do canal fechasse por períodos indefinidos, devido à deposição de areia pelo mar (Godoy, 2009, apud CECCA, 1997; Godoy, 2008). As localizações das estações maregráficas podem ser encontradas na Figura 1. Na Figura 2 encontra-se a E.M Barra da Lagoa e o Canal da Barra da Lagoa.

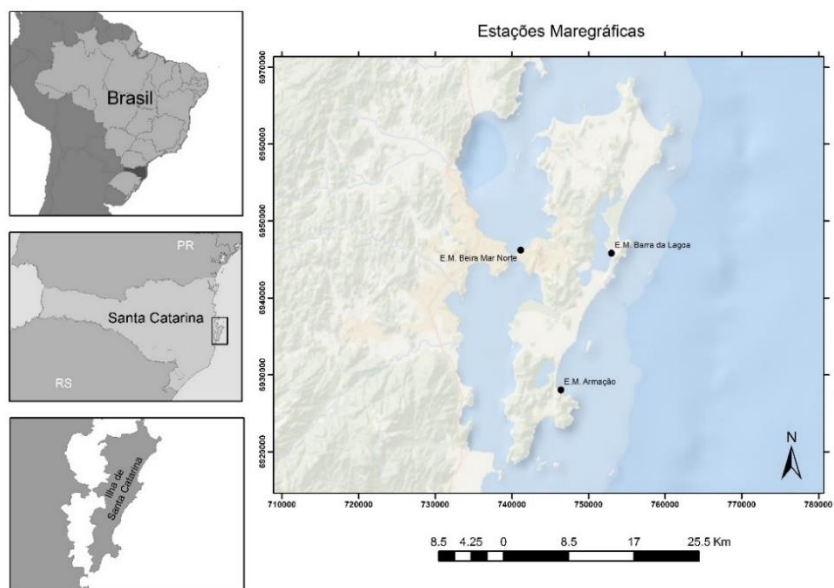


Figura 1: Localização das estações maregráficas na Ilha de Santa Catarina, SC. **Datum:** Sirgas 2000.

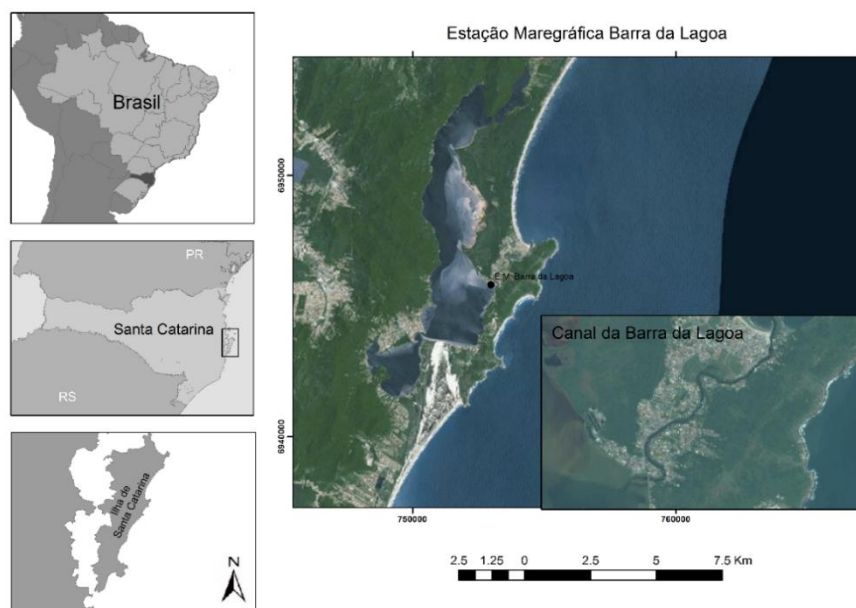


Figura 2: Área de estudo da E.M Barra da lagoa e canal da Barra da Lagoa, que liga a laguna ao mar aberto. **Datum:** Sirgas 2000.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MARÉS

Franco (2009) define marés como o fenômeno de variação periódica do nível do mar e de outros corpos d'água ligados ao oceano sob a influência de forças astronômicas que influenciam no campo gravitacional da Terra, ou seja, o sistema Terra-Sol-Lua. Garrison (2010) afirma que marés são ondas com comprimento de onda comparáveis à circunferência da Terra e são, portanto, as maiores ondas que atuam no oceano, responsáveis por causar alterações periódicas e de curto prazo na altura da superfície da Terra. Essas oscilações periódicas, formadas em oceano profundo, apresentam escalas temporais de horas, dias ou anos. De acordo com Truccolo & Schettini (1999), as variações ocorrem principalmente em resposta às forçantes (1) de origem astronômica, de natureza determinística e (2) devido à ação do vento e pressão atmosférica sobre o oceano, de difícil previsão devido à natureza aleatória do fenômeno atmosférico.

De acordo com a Teoria da Gravitação, a força de atração gravitacional entre duas massas m_1 e m_2 é proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional a distância entre elas ao quadrado e é dada pela relação a seguir:

$$f = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{D^2} \quad (1)$$

Onde:

f = força de atração entre as massas;

G = constante gravitacional universal ($6,66 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-2}$);

m_1 e m_2 = duas massas hipotéticas;

D = distância entre m_1 e m_2 .

Considerando essa Teoria, sabe-se que apenas o Sol e a Lua produzem forças gravitacionais de intensidades a serem consideradas para a geração de marés na Terra devido à sua massa e distância da mesma. Assim, as variações de nível do mar em resposta às forçantes astronômicas se dão aos movimentos do sistema formado pela Sol, Lua e Terra. Entretanto, a Lua, por estar mais próxima à Terra, exerce maior influência sobre o fenômeno, devido a distância estar em ordem exponencial na relação.

A intensidade da maré astronômica varia conforme o posicionamento relativo dos astros Sol-Terra-Lua e dos sistemas que são formados por eles. Quando o Sol e a Lua encontram-se alinhados com a Terra em um ângulo de 180° , durante lua cheia e lua nova, as variações da maré são máximas e são denominadas marés de sizígia. Durante as fases de lua crescente e lua minguante, os astros encontram-se posicionados

perpendicularmente em relação à Terra, que tem como consequência as variações no nível do mar com amplitudes mínimas, denominadas marés de quadratura.

A maré definida pela Lei da Gravitação Universal, denominada Maré de Equilíbrio, consiste em um elipsoide com o semieixo principal ao longo do Equador considerando a variação da declinação da Lua de 28° e um semieixo secundário ao longo dos polos. Entretanto, na prática, o elipsoide da maré de equilíbrio não se desenvolve devido a fatores relevantes na propagação da onda de maré, tais como: velocidade de propagação da onda de maré menor que a velocidade de rotação da Terra, presença dos continentes e o efeito de rotação da Terra (Coriolis).

Assim, a teoria dinâmica das marés se dá pela adição dessas considerações e a teoria de maré de equilíbrio. Antunes & Godinho (2011) sustentam que a morfologia dos fundos de águas costeiras e da própria linha de costa (penínsulas, baías, estuários, etc.) contribui significativamente para a alteração e o atraso da progressão da onda de maré de equilíbrio, alterando a sua fase e sua amplitude, que é ampliada devido ao atrito dos fundos costeiros, normalmente pouco profundos. De uma maneira geral, cada bacia oceânica tem um modo de oscilação natural que influencia na geração e propagação da maré (Pugh,1987).

Conseqüentemente, observa-se a formação de sistemas e pontos anfidrômicos pela combinação das bordas continentais, rotação da Terra e das propriedades físicas de propagação de ondas materiais (interferência). As ondas de maré giram em torno de um ponto anfidrômico. Nesse ponto, sua amplitude é zero e, conforme se propaga e se afasta do ponto, sua amplitude cresce gradualmente. Por fim, as ondas de maré se propagam junto a costa, com comportamento semelhante a ondas Kelvin.

Assim, a maré astronômica é o movimento periódico de subida e descida do nível do mar que obedece à força do campo gravitacional no sistema Terra-Sol-Lua (Pugh, 1987). Já quando a variação de nível ocorre devido à ação de fenômenos atmosféricos, a maré é dita maré meteorológica (submaré). De acordo com Pugh (1987), marés meteorológicas são geradas por períodos regulares de forçantes meteorológicas, em especial pela ação dos ventos e pela pressão atmosférica. Na maré astronômica, as variações de níveis são previsíveis e regulares. Contudo, atribui-se à maré meteorológica a principal causa de irregularidades nas variações de nível no oceano, aumentando-o ou diminuindo-o e assim é, na prática, a principal diferença entre a maré observada e aquela prevista pela Tábua de Marés. Para que ocorra extremos de maré meteorológica, o vento deve possuir uma componente paralela à costa, pois assim o fenômeno terá sua intensidade máxima. Isso ocorre devido ao efeito de rotação da terra que transporta a água para a esquerda da direção do vento no Hemisfério Sul.

Quando contribui para o aumento do nível, a maré meteorológica é tida como positiva. Por exemplo, na costa sul e sudeste do Brasil, os maiores níveis d'água,

geralmente, estão associados a marés meteorológicas positivas (da ordem de 1m acima do nível de maré alta de sizígia), resultado do maior empilhamento de água na região costeira devido aos centros de baixa pressão. Camargo e Campos (2006) identificaram que os processos ciclogênicos e o avanço de frentes frias estão relacionados às maiores ocorrências positivas de oscilações do nível do mar, assim como intensos anticiclones extratropicais podem ser associados às flutuações negativas. Estão somados com os dados de maré astronômica e meteorológica todas as perturbações de nível encontrados no momento da aquisição do dado pelo marégrafo e que estão sujeitos a variações irregulares e imprevisíveis. A combinação dos dados de maré meteorológica e essas irregularidades é entendida como efeitos não lineares (ruído).

Os resultados obtidos por Vanz *et al* (2015) apontam que para os eventos de sobre-elevação do mar encontrados na costa catarinense, predominaram as direções SE, SW e S dos ventos, com velocidades médias que variam de 4,3 m.s⁻¹ a 14,2 m.s⁻¹, com a média dos valores máximos registrada de 12,5 m.s⁻¹, com extremos variando de 5,5 m.s⁻¹ a 21,2 m.s⁻¹ e atuação do vento variando de 1 dia a 3 dias, com predominância de 2 dias. Os mesmos autores apontam que, para o caso das sub-elevação do mar, a direção predominante dos ventos foi de NE, NW e N. As velocidades máximas do vento registradas em seu estudo foram de 6,0 m.s⁻¹ a 12,3 m.s⁻¹, com média de 10,0 m.s⁻¹. As velocidades médias encontradas permaneceram entre 3,9 m.s⁻¹ a 7,5 m.s⁻¹ com período de atuação do vento variando de 2 dias a 3 dias.

4.2 CONSTITUINTES E CONSTANTES HARMÔNICOS

A onda de maré total é composta pelo somatório de vários harmônicos em um dado momento e região. A Marinha do Brasil define **constituente harmônico** como ondas sinusoidais com frequências determinadas pelo efeito exclusivo da ação de forças astronômicas e que compõem a onda de maré (total). Da mesma forma, Brown (1989) caracteriza que a variação regular na declinação do Sol e da Lua e as cíclicas variações de posição com relação à Terra podem ser traduzidas por **constituente harmônicas**, cada um contribuindo com a maré (total) em amplitude, período e fase. Sabe-se que, devido aos movimentos astronômicos serem cíclicos e regulares, seus períodos são conhecidos e conseqüentemente, suas frequências também o são. Cada frequência é intrínseca de cada constituinte harmônico, atribuindo-lhe identidade, e tornando-a conhecida na literatura. Assim, os constituintes harmônicos ou constituintes de maré são caracterizados pelo seu período, fase e amplitude (Martins & Reis, 2007), com suas respectivas frequências associadas, que atua(m) em um dado momento e região, cuja resultante é a onda de maré total.

As **constantes harmônicas** (CH) são a fase e a amplitude locais de cada constituinte harmônico em maré de equilíbrio. Cada constituinte harmônico está associado as suas

constantes harmônicas locais (A , Φ), a sua frequência já conhecida (ω) e o tempo (t) e pode ser representada pela relação:

$$\eta = A \cos (\omega t - \Phi) \quad (2)$$

Onde:

- η = modelo de maré/ constituinte harmônico;
- A = amplitude da constituinte (que determina sua importância relativa);
- ω = frequência da constituinte (usualmente dada em graus por hora e conhecida a partir do desenvolvimento harmônico da força geradora da maré);
- t = tempo;
- Φ = Fase da constituinte numa dada origem temporal

Assim, entenda-se maré astronômica como a soma de todas as marés parciais (importância relativa de cada harmônico) em um dado local e tempo. Embora cerca de 300 constituintes de maré sejam conhecidas, nem todas são utilizadas para previsão e caracterização de maré em uma região. Para essa finalidade, usa-se, em média, cerca de 35 constituintes harmônicos de um local (Martins & Reis, 2007) de acordo com sua relevância para a área de estudo.

Os componentes harmônicos agem diretamente na energia de maré ou interagem primeiramente entre si e/ou com a parte física do ambiente, formando um novo componente harmônico. Isso acontece devido a interferência de onda onde, segundo Garrison (2010), podem reagir umas com as outras, resultando em ondas maiores (interferência construtiva) ou menores (interferência destrutiva). É definido que os harmônicos estão em fase quando há interferência construtiva e aumento da amplitude e que estão em oposição de fase quando sofrem interferência destrutiva e diminuição da amplitude.

As principais faixas de frequência de oscilação para o potencial gerador de maré foram identificadas por (Cartwright & Edden, 1973) e se encaixam em três principais tipos ou espécies de maré: longo período, diurnas e semidiurnas. De acordo com Defant (1961), os harmônicos mais importantes são os diurnos M2, S2, N2, P2 e os semidiurnos O1, K1 e P1 e classifica os harmônicos mais energéticos os semidiurnos M2 e S2 e dos diurnos o K1 e O1. Quando os constituintes mais energéticos experimentam condições de águas rasas, as marés de águas rasas (*overtides* e *compound tides*) são geradas pelos processos físicos não lineares, dominantes em regiões costeiras (Valdés *et al* apud Le Provost, 1991, Parker, 1991; Rossiter *et al*, 1968). Nicollite *et al* (2009) aponta como causas de alterações: o atrito com o fundo, a configuração da costa que direciona o fluxo de marés, a profundidade e a compreensão das margens do canal (no caso de estuários e lagunas).

Em resumo, componentes de águas rasas são harmônicos de curto período e alta frequência formados pela deformação da onda de maré devido a interação com a parte física do ambiente. Valdez (2003) define *overtide* como componentes de períodos múltiplos exatos dos constituintes fundamentais e destaca o harmônico M4 como múltiplo de M2, com período de 6,21 horas. Já a componente de água rasa do tipo *compound tide* são combinações lineares de dois ou mais componentes, por exemplo, MS4, harmônico quarta-diurno, cujo período é de 6,10 horas decorrente das interações entre M2 e S2.

Esses componentes possuem velocidades de fase iguais à soma ou diferença das velocidades de dois ou mais harmônicos principais (*compound tides*) ou múltiplo a elas (*overtides*). São componentes importantes para regiões costeiras uma vez que suas magnitudes, quando comparados aos harmônicos fundamentais, são normalmente maiores na corrente de maré do que na maré e também porque nesses ambientes há a deformação da onda de maré, por se tratarem de ambientes de águas rasas.

De acordo com Miranda *et al* (2002), as oscilações de nível que chegam à costa em decorrência da maré astronômica possuem período de ocorrência predominantemente diurno ($\pm 24h$) ou semidiurno ($\pm 12h$) ou com frequências de uma ou duas oscilações por dia, respectivamente. Por serem predominantes, são adotadas como referenciais e classificadas como marés de **alta frequência**, onde também se enquadram as de águas rasas, com períodos menores do que 9h. As frequências adotadas como **baixas frequências** (submaré) possuem ciclo menores que um dia e são de origem meteorológica associada a eventos como ventos, precipitação e descarga fluvial.

Para avaliar a importância relativa dos harmônicos diurnos e semidiurnos de maré, Defant (1961) propôs a classificação através do Número de Forma que é definida pela razão da soma das amplitudes dos principais constituintes diurnos pela soma das amplitudes das principais constantes semidiurnas mencionados acima, como representada na relação a seguir:

$$F = \frac{(O1 + K1)}{(M2 + S2)} \quad (3)$$

Assim:

- Se $0 \leq F \leq 0,25$ a maré é considerada semidiurna.
- Se $0,25 \leq F \leq 1,5$ a maré é considerada mista, com predominância semidiurna e com desigualdade diurna.
- Se $1,5 \leq F \leq 3$ a maré é considerada mista, com predominância diurna, com desigualdade semidiurna.
- Se $F \geq 3$ a maré é considerada diurna.

Em maré de sizígia, assume-se que os quatro principais harmônicos atuem na amplitude máxima, em outras palavras, estejam em fase e assim é dada a relação $(M2 + S2) + (O1 + K1)$. Da mesma forma, quando em maré de quadratura, a amplitude máxima é estimada por $(M2 - S2) + (O1 - K1)$ quando os principais harmônicos estão em oposição de fase (Defant, 1961). Para componentes de águas rasas, a associação entre M4 e M2 se dá pela razão das amplitudes $M4/M2$, onde o principal harmônico da frequência fundamental M2 corresponde a componente M4. A razão $M4/M2$ das amplitudes é usada como uma medida de distorção do componente principal semidiurna e reflete os efeitos dissipativos do sistema, assim como a transferência de energia espectral do componente M2 para M4 (Miyao & Harari, 1989). Já, em relação às variações de maré, foram classificadas por Davies (1964) como sendo micro (< 2 m), meso (2m-4 m) e macromaré (> 6 m).

Dessa forma, as variações da altura de maré podem ser representadas pela soma de um número finito de termos harmônicos aos quais se chamam constituintes harmônicas da maré (Martins & Reis, 2007) somados a fatores meteorológicos e não lineares e para identificar e analisar o comportamento individual de cada onda de maré utiliza-se a análise harmônica e espectral descritas a seguir.

4.3 ANÁLISE HARMÔNICA

Define-se análise harmônica como a representação das variações de maré e a soma dos diversos harmônicos, cada qual com seus diferentes períodos, amplitudes e fases (Pugh, 1987; Martins & Reis, 2007). Essa análise é bastante conhecida e utilizada nas previsões de maré e entendimento da hidrodinâmica local de uma região costeira.

As frequências das constituintes harmônicas são conhecidas (Pugh, 1996) e essas frequências são diretamente relacionadas aos parâmetros astronômicos (Pawlowicz, 2002 apud Godin, 1972), e devido ao seu comportamento oscilatório periódico, podem ser representados como ondas senóides e cossenóides, onde cada harmônico influencia a amplitude total da maré astronômica. Dessa forma, pode-se especificar as frequências e utilizar a técnica dos Mínimos Quadrados (técnica utilizada para se fazer o melhor ajuste de uma função num conjunto de dados) para determinar os componentes harmônicos. Para cada harmônico identificado no processo é atribuída uma amplitude (a contribuição desse componente no nível do mar) e uma fase (o atraso desse componente em relação a uma referência). Através dessa análise pode-se estimar e prever a maré astronômica de uma região num determinado momento.

4.4 ANÁLISE ESPECTRAL

A análise espectral consiste num método que caracteriza o conteúdo energético de uma série temporal, em função das frequências de um determinado sinal. Através da Transformada de Fourier, relaciona-se esse sinal no tempo ou no espaço a sua representação no domínio da frequência (Romano, 1995).

Essa análise permite identificar o comportamento individual da onda de maré, ou seja, a onda de maré registrada em um determinado ponto tem energia em várias bandas de frequência (Martins & Reis, 2007) e sua avaliação espectral permite identificar essas bandas que, por sua vez, caracterizam suas constituintes harmônicas e assim, caracterizam a onda de maré do ponto em questão.

4.5 ATENUAÇÃO DA MARÉ

Em certas configurações de costa as oscilações no nível do mar podem adentrar à desembocadura de um estuário ou canal lagunar e interagir com o seu interior. Em lagoas costeiras estranguladas, o efeito de fricção é maior do que o da convergência do canal e, dessa maneira, a onda de maré é atenuada no interior deste (Ribeiro, 2008). Segundo Speer & Aubrey (1985), a maior parte da assimetria da curva de maré astronômica é resultado do balanço entre a topografia do estuário e os efeitos de fricção e estreitamento do canal.

A onda de maré ao entrar em rios ou estuários é influenciada por fatores tais como: batimetria, configuração da bacia e cauda fluvial. À medida que se caminha para montante, a sua amplitude aumenta até uma determinada zona do rio ou estuário, onde o atrito das margens e do fundo começa a ter importância tal que a sua amplitude começa a decrescer. A amplitude dentro de estuários, ou baías, por vezes também é amplificada devido a fenômenos de ressonância, dependentes da forma e dimensões da bacia, que se podem somar às constituintes de maior amplitude da maré no local (Martins & Reis, 2007).

Estudos pretéritos apontam que o canal da Barra da Lagoa, que liga a Lagoa da Conceição ao mar aberto, atenua a onda de maré que chega ao interior da laguna devido a sua geomorfologia e geometria (Porto Filho & Bonetti Filho, 1997; Andrade, 2001; Godoy, 2008). Sabe-se também que o canal de comunicação entre laguna e mar aberto funciona como um filtro seletivo para os componentes harmônicos, removendo, normalmente os componentes de mais baixo período (Ribeiro, 2008) e, conseqüentemente, altas frequências. Fernandes *et al* (2004) afirma que em lagunas, o único longo e estreito canal que normalmente as conecta ao oceano pode servir como um filtro passa-baixa hidráulico natural que reduz ou elimina os efeitos da maré e da submaré dentro do corpo lagunar. Seu estudo mostrou que a maior laguna da região Sul do Brasil, conhecida como Lagoa dos Patos - RS, apresenta o canal como atenuador das

oscilações da maré e submaré, com maior atenuação das oscilações de alta-frequência (maré) e que essa atenuação sugere um padrão sazonal.

De acordo com os autores e Moller *et al* (1996), essas baixas frequências (submaré) foram mais energéticas no período de inverno quando comparadas ao verão. Isso devido ao inverno possuir maior ocorrência de frentes frias que acresceriam energeticamente a banda de baixas frequências no sistema. Já Godoy *et al* (2008), concluiu em seu trabalho, que o efetivo papel do canal como atenuador da onda de maré para a extensa laguna na Ilha de Santa Catarina, Lagoa da Conceição, chega a 84% e encontra, assim como Fernandes *et al* (2004), uma maior atenuação de bandas de alta-frequência. Para a mesma região, Pereira (2004) estimou a atenuação da maré astronômica em 90%.

Os resultados do presente estudo foram comparados aos estudos pretéritos de Godoy *et al* (2008) e Pereira (2004) sobre a atenuação da onda de maré pelo canal da Barra da Lagoa, com ênfase para as baixas-frequências e, no comportamento dos componentes de águas rasas, para a investigação das mesmas no ambiente lagunar e serão discutidos mais adiante nesse trabalho. Também foi feita análise preliminar, comparando o mês de janeiro de 2014 (verão) e julho de 2014 (inverno), para investigar o comportamento sazonal das bandas de frequência encontradas no corpo lagunar.

5 METODOLOGIA

Neste tópico serão apresentados os procedimentos básicos aplicados no processamento dos dados de nível e vento e as análises harmônica e espectral.

5.1 ORIGEM E PROCESSAMENTO DOS DADOS

5.1.1 DADOS DE NÍVEL

Os dados de nível foram adquiridos via três estações maregráficas distintas na Ilha de Santa Catarina, sendo localizadas na Beira Mar Norte, Praia da Armação e Barra da Lagoa (Tabela 1 e Figura 3). Na estação da Beira Mar Norte foi instalado um marégrafo da Valeport, modelo TideMaster, próximo à ponte Hercílio Luz, que coletou dados dos dias 4 de outubro de 2013 a 12 de agosto de 2014. Nas estações maregráficas da Praia da Armação e Barra da Lagoa foram instalados marégrafos da Ohmex, modelo TideM8, que coletaram dados de nível no período de 27 de abril de 2013 a 3 de junho de 2015 na estação da Praia da Armação, e de 4 de junho de 2013 a 27 de julho de 2015, na estação da Barra da Lagoa. Para a Praia da Armação, o marégrafo foi instalado na parte sul do arco praial e na estação da Barra da Lagoa, a instalação foi feita dentro do corpo lagunar da Lagoa da Conceição, próximo à ponte e à entrada para o bairro Fortaleza da Barra. Os dados foram coletados em intervalo amostral de 10 em 10 minutos.



Figura 3: Localização das estações maregráficas utilizadas nos estudos na Ilha de Santa Catarina.

Tabela 1: Localização das estações maregráficas utilizadas no estudo.

Estação maregráfica	Posição da estação (UTM, zona 22J)
Beira Mar Norte	6946218,10 m S, 741128,42 m E
Praia da Armação	6928050,77m S, 746394,12 m E
Barra da Lagoa	6945814,47 m S, 752980,69 m E

Para o controle de qualidade dos dados foram propostas as seguintes etapas:

Etapa 1: Criação de séries temporais para cada estação maregráfica;

Etapa 2: Análise das séries temporais para identificação de dados ausentes e possíveis comportamentos anômalos. Sabe-se que os dados ausentes e comportamentos anômalos comprometem a análise temporal e, por isso, a avaliação dos mesmos faz-se importante;

Etapa 3: Identificação de dados espúrios através de análise de comportamento dos dados dentro da série temporal e através da faixa de confiabilidade do valor médio \pm três desvios padrões;

Etapa 4: Remoção dos dados espúrios e cálculo das médias para estimar os valores das alturas médias, valores máximos e mínimos da onda de maré para cada estação.

Foi considerado dado espúrio aqueles que apresentaram espaços temporais irregulares, comportamentos anômalos e dados com valores individuais discrepantes dos demais. Na prática, costuma ser um erro no momento da aquisição dos dados. São pontos que se diferem de forma significativa dos demais e que não costumam representar situações reais e relevantes ao estudo, mas que quando considerados em longas séries temporais, podem acumular erros estatísticos.

Após o tratamento dos dados brutos, foram realizadas as verificações das séries temporais e as análises harmônicas e espectrais em cada ambiente. Da mesma forma, foi verificado se os picos máximos e mínimos (valores unitários máximos e mínimos encontrados na série temporal) estavam ou não em marés de sizígia e quadratura, comparando a data de coleta com a fase lunar do dia, registrados pelo Departamento

de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

5.1.2 DADOS DE VENTO

Devido à falta de dados *in situ*, os dados de ventos utilizados para a região de estudo são procedentes do modelo ERA-Interim administrado pelo Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). O ERA-Interim é um modelo de reanálise de dados atmosféricos globais que cobrem o período de 1979 até o presente. O modelo possui uma resolução meridional e zonal de $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ (~80 km) e uma resolução temporal de 6h.

Os dados de intensidade dos componentes zonal e meridional foram extraídos para um ponto a aproximadamente 30km a leste da costa da Ilha de Santa Catarina, a 48°O e $-27,75^\circ\text{S}$. Foi calculada a resultante e a direção dos ventos a partir dessas componentes. O período selecionado foi de janeiro de 2013 a dezembro de 2015 e sobrepõe todas as séries temporais de nível analisadas neste trabalho.

5.2 ANÁLISE HARMÔNICA

Foi realizada a análise harmônica das séries coletadas para obter valores de amplitude e fase para as principais constituintes da maré astronômica. Para isso foi utilizado o pacote de aplicativos de código aberto para Matlab desenvolvido em 2001, conhecido como T_tide, sendo essa uma ferramenta bastante utilizada para análise harmônica de marés. O pacote trabalha com um grande número de constituintes harmônicos (45 astronômicos e 101 de águas rasas) e foi descrito por Pawlowicz, Beardsley & Lentz (2002). Esse pacote permite identificar os constituintes harmônicos estatisticamente significativos que atuam na maré astronômica com 95% de intervalo de confiança.

Foi utilizado o maior período de dados sem dados ausentes – maiores séries contínuas (Tabela 2) - para a identificação dos harmônicos significativos em cada estação, como orientado pelos autores. Houve a interpolação dos dados para a padronização do intervalo amostral – coletados de 10 em 10 minutos - uma vez que os dados brutos apresentaram descontinuidade na aquisição dos mesmos na casa dos segundos. Os resultados do T_tide, com e sem interpolação, foram comparados para verificar em qual houve menor erro associado aos harmônicos significativos encontrados. Posteriormente, também através do método dos Mínimos Quadrados, foi feita a previsão de maré astronômica para toda a série por meio dos harmônicos identificados pelo T_tide.

Tabela 2: Número de dias totais e das maiores séries contínuas usados nas análises em cada estação.

Estação maregráfica	Período de amostragem total	Nº total de dias de amostragem para toda série temporal	Período de amostragem maiores séries contínuas	Nº de dias de amostragem das maiores séries contínuas
Beira Mar Norte	04-Out-2013 a 12-Ago-2014	312	01-Nov-2013 a 31-Jan-2014	92
Armação	27-Mar-2013 a 03-Set-2015	767	25-Nov-2013 a 24-Fev-2014	91
Barra da Lagoa	04-Jul-2013 a 28-Mar-2015	726	18-Dez-2013 a 28-Mar-2014	100

5.3 ANÁLISE ESPECTRAL

Por se tratar de um processo oscilatório, as ondas e os harmônicos de maré podem ser descritas no domínio da frequência na forma de um espectro, que descreve sua distribuição de energia ao longo das diferentes frequências. Assim, as ondas e os harmônicos ficam identificáveis no espectro, como elevações ou picos de energia ao longo de uma faixa de frequência, sendo sua energia proporcional a sua amplitude.

Para compreender a interpretação dos dados no domínio das frequências, foi calculado o espectro de densidade e energia das séries temporais. De acordo com Fernandes (2012), o periodograma é uma ferramenta estatística comumente utilizada para encontrar os componentes periódicas em uma série, pois permite a detecção de periodicidades contidas nos dados. Sendo assim, o periodograma foi estimado para os dados de nível medidos e também para o ruído em todas as estações e para toda a série temporal em cada estação.

A análise espectral das maiores séries contínuas foi baseada no método de Welch (1967), através da função Pwelch do MatLab. A função foi configurada utilizando uma janela tipo Hanning, com sobreposição de 50%, procedimento que resulta em uma estimativa de densidade espectral média, calculada a partir de 5 segmentos. Adotou-se as frequências energéticas descritas por Zavialov et al (2002) para estimativa de cada espécie de maré na contribuição energética da onda de maré. Os resultados de integração dos espectros nas bandas selecionadas foram expressos como percentagem em relação ao total de energia. A tabela 3 contém os tipos de maré, frequências e períodos adotados para a estimativa.

Tabela 3: Tipos de maré, frequências e períodos descritos por (Zavialov et al, 2002) adotados para a estimativa da partição energética derivada da análise espectral.

Tipo de maré	Bandas de frequência (cph)	Período(h)
Baixa frequência	$0,00048 < f \leq 0,00417$	$240 < T$
Meteorológica	$0,00417 < f \leq 0,03333$	$30 < T \leq 240$
Diurna	$0,03333 < f \leq 0,05555$	$18 < T \leq 30$
Semidiurna	$0,05555 < f \leq 0,09090$	$11 < T \leq 18$
Águas rasas	$0,09090 < f \leq 0,50000$	$2 < T \leq 11$

5.4 COMPONENTE METEOROLÓGICA E EFEITOS NÃO LINEARES

Eliminando variações de alta frequência obtém-se a componente não astronômica ou submaré do nível do mar Pugh (2004). Assim, para estimar a influência da maré meteorológica, foi extraído a maré astronômica dos dados medidos (tratados). O resultante (resíduo ou erro) foi considerado a frequência submaré do nível do mar, ou seja, a componente meteorológica e de baixa frequência, como ilustrado a seguir:

$$\text{Dados medidos} - \text{Maré astronômica estimada} = \text{Maré meteorológica}$$

Esse procedimento foi realizado para cada estação maregráfica e comparada aos dados de vento obtidos por reanálise. Para compreender a correlação entre os dados medidos e a maré meteorológica, foi calculado o coeficiente de Pearson e realizado a análise espectral.

5.5 ATENUAÇÃO DA MARÉ

Para compreender a atenuação dos constituintes harmônicos (maré astronômica) pelo canal da Barra da Lagoa da Conceição, foram comparados diretamente os resultados das amplitudes obtidas nas Estações Maregráficas de Armação (mar aberto) e Barra da Lagoa (dentro do corpo lagunar) dado pela análise harmônica para toda a série temporal.

Foi verificada a atenuação total e de cada espécie de maré, com ênfase nos componentes de baixas-frequências (submaré) e de águas rasas, comparando os resultados com os encontrados por Godoy *et al* (2008) e Pereira (2004). Também foi proposto, através dos dados de nível da E.M. Barra da Lagoa, a verificação da contribuição energética percentual de cada banda energética, adotando-se as frequências adotadas por Zavialov *et al* (2002) descritas na Tabela 2, para os meses de verão (01 de janeiro de 2015 a 31 de janeiro de 2015) e inverno (20 de junho de 2015 a 20 de julho de 2015) com o intuito de averiguar se há variação sazonal na contribuição

energética da componente meteorológica (submaré) dentro do corpo lagunar. A frequência média mensal de frentes frias não varia muito durante o ano, no litoral de Santa Catarina, mas pode-se identificar uma variação sazonal no campo de vento pós-frontal (Rodrigues *et al*, 2004). Assim, durante o inverno, ocorre entradas de frentes frias mais intensas do que o verão o que contribuiria para o aumento da transferência de energia para dentro do corpo lagunar devido a componente meteorológica (Moller *et al*, 1996; Fernandes *et al*, 2004).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 REGIME DOS VENTOS

Os resultados apontam a predominância de ventos de sudeste e de nordeste para a região da Ilha de Santa Catarina, com intensidades predominantes de 2m.s^{-1} a 4m.s^{-1} (Figura 4). Ventos do quadrante Sul foram associados por Vanz *et al* (2015) com a sobre-elevação de nível na costa catarinense, com direções SE, SW e S e a sub-elevação do nível aos ventos no quadrante norte, com direção NE, NW e N. Os mesmos autores afirmam que o número de dias que o vento atua nos eventos de sub e sobre-elevação de nível do mar variou de 1 a 3 dias, com predominância de 2 dias.

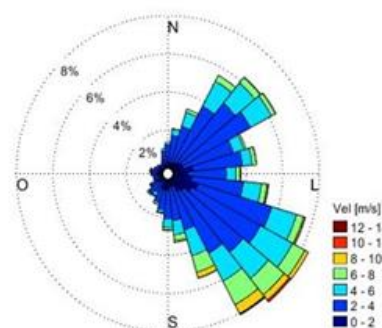


Figura 4: Direção e intensidade dos ventos (m.s^{-1}) na região da Ilha de Santa Catarina para Janeiro de 2013 a dezembro de 2015. A direção das barras segue a convenção meteorológica e aponta a direção de onde os ventos vem.

6.2 SÉRIES TEMPORAIS

Foi observado que os dados coletados apresentavam muitos dados ausentes devido a manutenção, ajuste e/ou limitações do próprio equipamento. Foram encontradas 4 janelas com dados ausentes na E.M. da Beira Mar Norte, 14 na E.M. da Praia da Armação, 17 na E.M. da Barra da Lagoa. Ainda que nesse trabalho essa

descontinuidade não impossibilitou diretamente a interpretação dos resultados, é importante ressaltar a importância de dados contínuos e de boa qualidade para estudos posteriores para a realização de análises temporais, harmônicas e, em especial, para as análises espectrais.

Foi possível observar pelos dados brutos que na estação maregráfica da Praia da Armação ocorreu desnível a partir do dia 12 de agosto de 2014. Isso foi apontado nos metadados como consequência de uma manutenção do equipamento e recálculo do nível, que foi corrigido para análises posteriores. Para estimar os valores médio, máximo e mínimo, entretanto, utilizou-se para essa estação os dados anteriores à manutenção, por possuírem maior intervalo amostral, com 71,6% dos dados. Também foi identificado dados espúrios na série da E.M. Beira Mar Norte no intervalo temporal de 31 de janeiro de 2014 a 06 de fevereiro de 2014, com valores de níveis menores que zero ou superiores a 10 metros de altura. Sem relação a eventos naturais que possam ter ocorrido, os dados dentro desse intervalo foram considerados espúrios e excluídos. Encontrou-se irregularidade na aquisição do tempo em segundos pelos marégrafos da Ohmex, modelo TideM8 das Estações de Armação e Barra da Lagoa onde ocorriam eventualmente retrocessos dentro do espaço temporal pela falta de precisão no intervalo amostral. Os dados que continham erros (dois na estação de Armação e um na estação da Barra da Lagoa) foram considerados espúrios e excluídos das séries.

Para os dados de Armação, os valores que excederam os limites de confiabilidade apontados pelo valor de três vezes o desvio padrão não apresentaram comportamentos individuais discrepantes e foram mantidos na série. O mesmo não se verificou nos dados da E.M. Barra da Lagoa. Nessa estação, foram encontrados pontos que apresentaram valores individuais discrepantes da série, com menos de 10cm de nível, níveis iguais a zero ou ainda menores que zero. Esses dados também foram considerados espúrios e retirados. A Figura 5 representa as séries (com os níveis médios) depois da manipulação citada acima para a retirada dos dados espúrios, com o intervalo de confiabilidade de ± 3 desvios padrões e também a resultante média diária de ventos obtidos por reanálise.

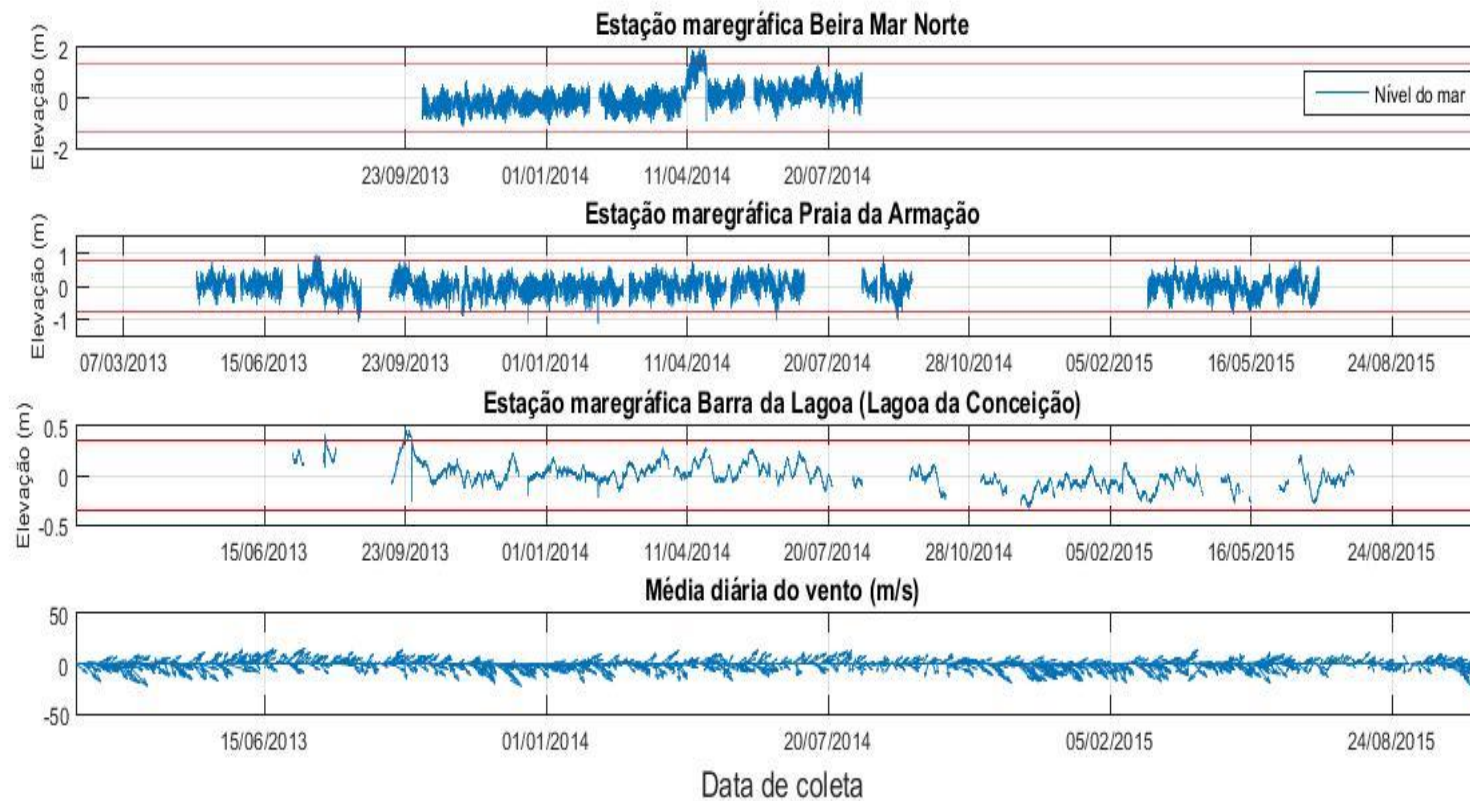


Figura 5: Séries temporais em cada estação com os níveis médios depois do tratamento dos dados com a retirada dos dados espúrios, aplicando o intervalo de confiabilidade de ± 3 desvios padrões representado pelas linhas vermelhas e a resultante média diária de ventos através dos dados obtidos por reanálise.

Para a série temporal da Baía Norte, período de 13 de abril de 2014 a 27 de abril de 2014 houve elevação de um grupo de dados bem acima do esperado. Nota-se que parece não haver associação entre o vento ou a entrada de frentes frias com essa elevação destoante, pois o vento permanece sem grandes variações durante o período em questão (Figura 5), o que a princípio não caracteriza eventos de sobre-elevação de nível do mar para a região. Fernandes *et al* (2004) afirmam que as passagens de frentes meteorológicas sobre a área podem ser observadas por mudanças na direção do vento de nordeste para o quadrante sul, o que não é apontado pelo gráfico para o período em questão.

Por fim, foi verificada a direção predominante dos ventos nesse período, que possuem predominância no quadrante norte-nordeste (Figura 6). De acordo com Junior (2011), ventos provindos do quadrante norte promovem o transporte de águas costeiras para o oceano aberto. Isso caracterizaria uma sub-elevação no nível da baía para o período em questão, ainda que para se assumir que se trate de um erro nos dados seja necessária a investigação de todas as variáveis locais para o ambiente. Assim, estudos mais abrangentes de todas as variáveis meteorológicas deveriam ser associados ao período para investigação da elevação do nível antes de considerá-lo um erro na hora da aquisição dos dados.

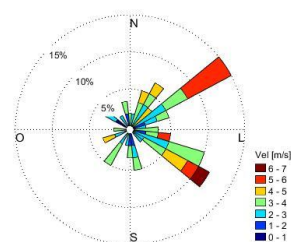


Figura 6: Diagrama de direção e intensidade dos ventos para o período de 10/04/2014 a 30/04/2014.

Entenda-se nível médio das marés como o valor médio de certo número de preamares e baixa-mares (Miguens, 1996, Pugh,1987), variação da maré (amplitude média) como os valores máximo e mínimo em que o nível oscilou em relação ao nível médio do mar através do tempo e como picos máximo e mínimo os valores individuais de picos máximo e mínimo na série temporal, sem espúrios. Os valores de nível médio, variação da maré, máximos e mínimos encontrados nas séries totais (que abrangem todo o período amostral) estão dispostos na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Relação dos valores de nível médio, variação da maré, máximos, mínimos encontrados nas séries temporais encontrados das três estações maregráficas, em metros.

Estação Maregráfica	Série Temporal Total			
	Nível médio	Δ maré	Máximo	Mínimo
Beira Mar Norte	1,36	1,98 a -1,17	3,35	0,19
Armação	1,24	0,98 a -1,17	2,23	0,07
Barra da Lagoa	0.63	0,46 a -0,33	1.09	0.29

As variações de maré para as regiões, de acordo com Davies (1964), foram de micromaré para Baía Norte, Praia da Armação e Lagoa da Conceição. Foi investigado também os valores médios, máximos e mínimos nas maiores séries contínuas para cada estação (figuras 7 e 8) para verificação das fases lunares e marés de sizígia e quadratura. Quando comparados às fases lunares apontadas pelo Departamento de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, os máximos valores para as E.M da Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa foram encontrados nas fases lunares nova, cheia e minguante e os mínimos valores, em fases lunares minguante, crescente e cheia, respectivamente. Nota-se que os picos máximos para a Baía Norte e para a Praia da Armação acontecem em marés de sizígia enquanto os picos mínimos em maré de quadratura estão de acordo com o esperado. Contudo, no corpo lagunar essa associação não acontece.

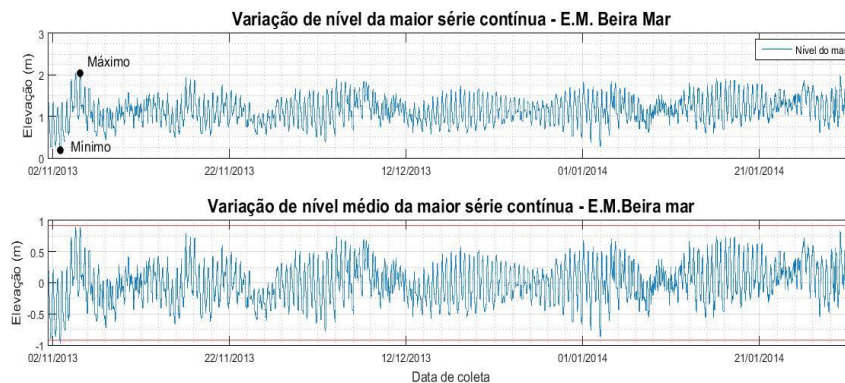


Figura 7: Variação de nível e variação de nível médio da maior série contínua (01/11/2013 a 31/01/2014) da estação maregráfica da Beira Mar Norte, com os picos máximos e mínimos destacados.

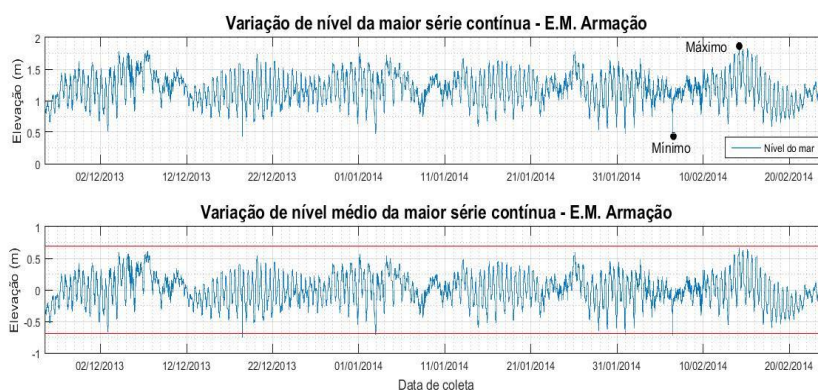


Figura 8: Variação de nível e variação de nível médio da maior série contínua (18/12/2013 a 28/03/2014) da estação maregráfica de Armação, com os picos máximos e mínimos destacados.

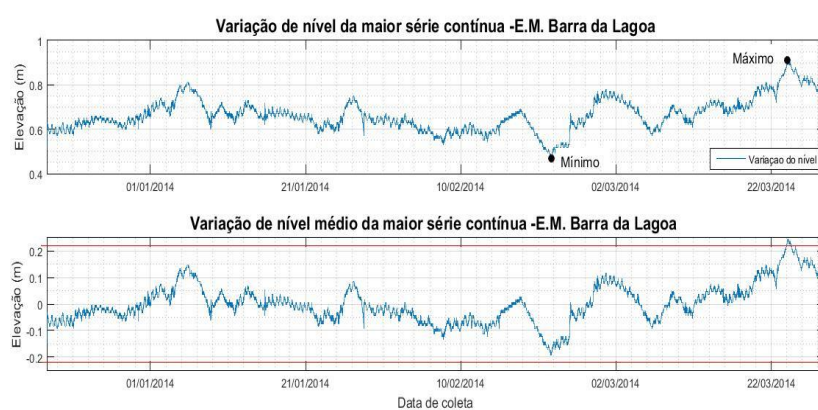


Figura 9: Variação de nível e variação de nível médio da maior série contínua (18/12/2013 a 28/03/2014) da estação maregráfica da Barra da Lagoa, com os picos máximos e mínimos destacados.

Considerando o estudo de Vans *et al* (2015) mencionado anteriormente, foi analisado o regime de vento para os dias de picos máximos e mínimos para cada estação, adotando-se o intervalo de tempo de 3 dias: o dia de pico, um dia anterior e um dia posterior a ele. A Figura 10, a seguir, demonstra a relação da direção e intensidade dos ventos para os três dias em cada estação.

Nota-se que para o pico máximo de sobre-elevação de nível na baía, o diagrama direcional dos ventos aponta duas vertentes mais intensas no quadrante sul-sudeste, com velocidades médias de $6m.s^{-1}$ a $7,5m.s^{-1}$, que correspondem, juntas, a aproximadamente 40% dos ventos para o período. Para o pico mínimo, os ventos predominantes são do quadrante norte-nordeste, cerca de 40% com velocidades médias de $2,5m.s^{-1}$ a $3,5m.s^{-1}$.

Para a Praia da Armação, durante o pico máximo há predominância de ventos no quadrante sul-sudeste, com cerca de 45% dos ventos nesse quadrante, com velocidades médias de $3m.s^{-1}$ a $4,5m.s^{-1}$. Nota-se, entretanto, que os ventos mais intensos estão apontados para leste, mas apenas com aproximadamente 15% dos ventos com intensidades de $4,5m.s^{-1}$ a $5m.s^{-1}$. Para o pico mínimo, notam-se ventos em todos os

quadrantes, com predominância norte e noroeste, em que cerca de 30% dos ventos totais apresentam intensidade de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ a $2,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Para a laguna, verifica-se que durante o pico máximo também houve predominância de ventos no quadrante sul-sudeste, com duas direções predominantes nesse quadrante que, somadas, representam cerca de 45% dos ventos, com velocidades de aproximadamente 5 m.s^{-1} a 6 m.s^{-1} . Para o pico mínimo, os ventos mais intensos são também do quadrante sudeste, que somadas representam 70% dos ventos. Nota-se, entretanto, que durante o pico máximo, os ventos predominantes são na maioria regidos pelas maiores intensidades do que quando comparados aos de pico mínimo. Por fim, as direções dos ventos mais intensos estão mais dispersas e próximas à direção leste do que quando comparadas às direções apontadas pelo diagrama para o pico máximo.

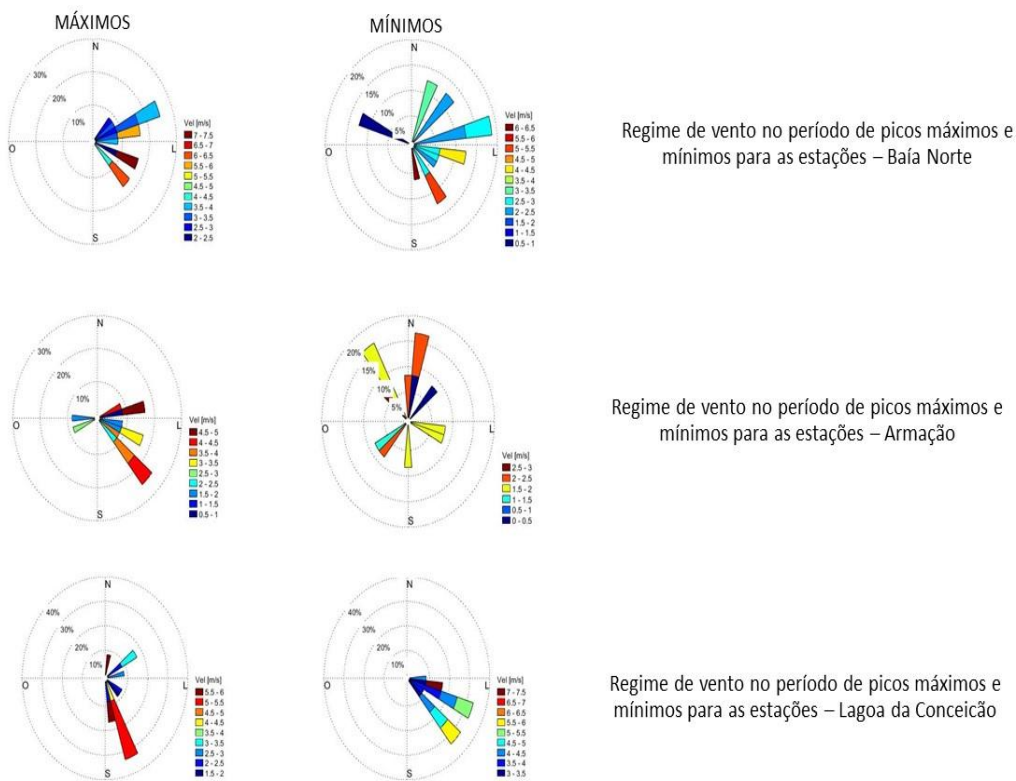


Figura 10: Ventos predominantes com duração de 3 dias durante os valores de picos máximos e mínimos para cada Estação.

6.3 ANÁLISE HARMONICA

Foi encontrado maior expressão dos componentes significativos encontrados pelo T_tide quando os dados para *input* foram interpolados, ou seja, houve menor erro associado aos resultados. Essa interpolação teve como objetivo padronizar o input nas casas de horas, minutos e segundos. A Tabela 5 contém harmônicos estatisticamente significativos obtidos pelo T_Tide, com inputs interpolados, para a estação maregráfica de Beira mar Norte, Praia da Armação e Barra da Lagoa.

Tabela 5: Resultado do pacote T_TIDE dos componentes harmônicos significativos, frequências, amplitudes e fases.

E.M. Beira Mar Norte				E.M. Armação				E.M. Barra da Lagoa			
Tide	freq	amp	pha	Tide	freq	amp	pha	Tide	Freq.	amp	pha
*P1	0.0415526	0.0210	148.79	*P1	0.0415526	0.0204	152.49	*P1	0.0415526	0.0014	167.81
*K1	0.0417807	0.0634	141.72	*K1	0.0417807	0.0617	145.42	*K1	0.0417807	0.0043	160.74
*Q1	0.0372185	0.0321	62.85	*Q1	0.0372185	0.0416	67.23	*Q1	0.0372185	0.0035	106.26
*O1	0.0387307	0.1088	82.46	*O1	0.0387307	0.1065	88.63	*O1	0.0387307	0.0075	154.34
*ALP1	0.0343966	0.0051	314.15	*2Q1	0.0357064	0.0076	47.65	*OO1	0.0448308	0.0018	342.47
*2Q1	0.0357064	0.0091	49.07	*OO1	0.0448308	0.0051	26.72	*M2	0.0805114	0.0081	160.04
*OO1	0.0448308	0.0040	50.35	*M2	0.0805114	0.1840	92.73	*S2	0.0833333	0.0044	162.13
*UPS1	0.0463430	0.0063	119.35	*S2	0.0833333	0.1456	100.72	*N2	0.0789992	0.0022	218.17
*M2	0.0805114	0.2466	77.30	*L2	0.0820236	0.0189	88.78	*K2	0.0835615	0.0012	184.53
*S2	0.0833333	0.1729	84.76	*N2	0.0789992	0.0474	174.56	*MU2	0.0776895	0.0015	265.91
*L2	0.0820236	0.0295	69.57	*K2	0.0835615	0.0396	123.12	*ETA2	0.0850736	0.0015	209.53
*N2	0.0789992	0.0580	166.50	*EPS2	0.0761773	0.0081	85.85	*MO3	0.1192421	0.0008	337.82
*K2	0.0835615	0.0471	107.16	*MU2	0.0776895	0.0222	152.89	*M3	0.1207671	0.0010	239.22
*MU2	0.0776895	0.0274	115.19	*ETA2	0.0850736	0.0132	110.98	*MK3	0.1222921	0.0008	11.93
*ETA2	0.0850736	0.0180	107.13	*MO3	0.1192421	0.0176	351.29	*MN4	0.1595106	0.0004	74.62
*MO3	0.1192421	0.0318	337.33	*M3	0.1207671	0.0228	196.76	*M4	0.1610228	0.0004	177.14
*M3	0.1207671	0.0492	184.56	*MK3	0.1222921	0.0103	126.55	*SN4	0.1623326	0.0004	300.76
*MK3	0.1222921	0.0291	95.67	*SK3	0.1251141	0.0024	292.11	*MS4	0.1638447	0.0008	307.14
*SK3	0.1251141	0.0082	244.30	*MN4	0.1595106	0.0144	32.91	*2MS6	0.2443561	0.0002	94.42
*MN4	0.1595106	0.0441	73.80	*M4	0.1610228	0.0347	90.37	*MM	0.0015122	0.0369	10.61
*M4	0.1610228	0.0867	117.07	*SN4	0.1623326	0.0077	12.65				
*MS4	0.1638447	0.0395	221.73	*MS4	0.1638447	0.0153	204.08				
*2MK5	0.2028035	0.0109	44.16	*2MK5	0.2028035	0.0063	32.83				
*M6	0.2415342	0.0039	271.12	*2MN6	0.2400221	0.0016	288.61				
*2MS6	0.2443561	0.0085	316.13	*2MS6	0.2443561	0.0041	296.77				
*3MK7	0.2833149	0.0030	35.01	*2SM6	0.2471781	0.0019	34.76				
*M8	0.3220456	0.0027	283.20	*3MK7	0.2833149	0.0024	341.76				
				*MM	0.0015122	0.0461	25.52				
				*MSF	0.0028219	0.0293	3.79				

Encontrou-se um total de 27, 29 e 20 harmônicos estatisticamente significativos para as E.M Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa, respectivamente. Os constituintes mais energéticos nas estações da Beira Mar Norte e Armação são os harmônicos semidiurnos M2 (principal lunar) e S2 (principal solar), o que já era esperado, pois esses costumam ser os mais influentes na energia de maré. O componente diurno O1 também é bem expressivo na contribuição energética, sendo o terceiro mais energético.

Para a laguna, o componente mais energético apontado pelo T_{tide} foi a de longo período MM. O tipo de maré de longo período é pouco expressivo quando comparada às demais, provavelmente em virtude da limitação do período de tempo analisado, como encontrado nos resultados das E.M. Beira Mar Norte e Armação. Por serem marés com amplitudes pouco expressivas e com períodos superiores a um dia, seu pico energético é mais sentido em séries temporais maiores onde quanto maior a série, maior sua expressão dentro da série. Estudos pretéritos citam o aumento energético das baixas frequências de maré através da entrada de frentes frias (Moller *et al*, 1996; Fernandes *et al* 2008) e estão normalmente enquadradas com os componentes não lineares (submaré) de maré.

Para os componentes de águas rasas, os mais energéticos foram os terci e quarto-diurnos, sendo esses mais expressivos no ambiente de baía, com destaque para os harmônicos M4, M3, MN4, MS4, MO3 e MK3. Para a Praia da Armação, os mesmos aparecem, sendo o M4 o mais energético. Para a laguna, o componente M3 é o mais energético dessa espécie de maré, contudo, com baixíssima contribuição energética.

A Tabela 6, a seguir, mostra (1) a relação entre os tipos ou espécies de maré contidas na maré astronômica estimada; (2) seu percentual de ocorrência; (3) sua implicância na elevação total calculada pelo somatório das amplitudes devido aos harmônicos e, (4) o percentual de influência de cada espécie de maré na elevação total. Essa tabela tem como objetivo expor os resultados encontrados na contribuição energética de cada tipo de maré na maré astronômica estimada. Observa-se que para as séries temporais (tanto a maior série contínua como toda a série temporal) as amplitudes encontradas foram semelhantes.

Tabela 6: Relação entre os tipos de marés astronômica, seu percentual de ocorrência, sua implicância na elevação total (somatório das amplitudes devido aos harmônicos) e o percentual de influência de cada espécie de maré dentro da elevação total, utilizando os resultados das amplitudes apontados pelo T_TIDE e pelo Método dos Mínimos Quadrados para todas as estações maregráficas.

		Maior Série Contínua		Série Total	
BAÍA NORTE					
Tipo de maré	Percentual Harmônicos (%)	Elevação total/ Somatório amplitudes (m)	Percentual na Elevação (%)	Elevação total/ Somatório amplitudes (m)	Percentual na Elevação (%)
Diurnas	30	0,25	21	0,22	20
Semidiurnas	26	0,60	51	0,60	53
Longo Período	0	0,00	0	0,00	0
Água rasa	44	0,32	27	0,31	27
Total	100	1,17	100	1,13	100
ARMAÇÃO					
Tipo de maré	Percentual Harmônicos (%)	Elevação total/ Somatório amplitudes (m)	Percentual na Elevação (%)	Elevação total/ Somatório amplitudes (m)	Percentual na Elevação (%)
Diurnas	21	0,24	26	0,21	28
Semidiurnas	28	0,48	51	0,41	54
Longo Período	7	0,08	8	0,04	5
Água rasa	45	0,14	15	0,10	13
Total	100	0,94	100	0,76	100
LAGOA DA CONCEIÇÃO					
Tipo de maré	Percentual Harmônicos (%)	Elevação total/ Somatório amplitudes (m)	Percentual na Elevação (%)	Elevação total/ Somatório amplitudes (m)	Percentual na Elevação (%)
Diurnas	25	0,0185	23	0,012	25
Semidiurnas	30	0,0189	24	0,013	28
Longo Período	5	0,0369	47	0,019	40
Água rasa	40	0,0048	6	0,003	6
Total	100	0,0791	100	0,047	100

Em relação ao total de harmônicos encontrados pelo t_tide, são do tipo de água rasa, cerca de 40 a 45% e, portanto, os mais abundantes em todas as séries. Já os harmônicos dos tipos de maré diurna e semidiurna, juntos, correspondem mais de 50% do total de harmônicos em todos os ambientes, sendo os do tipo semidiurna pouco menos recorrentes para a E.M Beira Mar Norte. Nota-se um baixo percentual dos harmônicos do tipo de longo período, correspondentes a menos de 10% do total em todas as séries.

Em relação à elevação do nível (percentual na elevação) devido aos harmônicos de maré, os tipos mais expressivos são as semidiurnas responsáveis por cerca de mais de 50% da energia da maré para a Baía Norte e para a Praia da Armação. Os componentes de longo período contribuem zero ou muito pouco (5%) para a baía e Praia da Armação, mas domina em se tratando ao ambiente lagunar, o que de acordo com Godoy *et al* (2008) e Fernandes *et al* (2004), sugere uma maior filtragem de altas frequências e menor filtragem de baixas frequências (longos períodos) pelo canal comunicante. Isso também pode explicar a expressão do harmônico MM para o corpo lagunar, mesmo em série temporal pequena.

Em relação aos componentes de águas rasas, houve um padrão disperso quanto à influência dessa espécie na elevação: 27% para a baía, 13% para a praia e apenas 6%

para a laguna. Para as estações da Beira Mar Norte e Armação, há bastante influência dos harmônicos diurnos no percentual de elevação, ainda que esses não se sobressaíam aos harmônicos do tipo semidiurno.

A classificação encontrada pelo número de forma, definida por Dufant (1961), faz a relação da importância relativa das constantes diurnas e semidiurnas de maré. Através da relação entre os harmônicos e os valores das amplitudes, o número de forma para as Estações Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa caracteriza regime de maré mista e do tipo semidiurna, com desigualdade diurna nos três ambientes distintos desse estudo. A Tabela 7, a seguir, representa os parâmetros descritores da maré astronômica.

Tabela 7: Parâmetros descritores da maré astronômica considerando as amplitudes encontradas para a maior série contínua e para toda a série. O número de forma é adimensional, e os demais valores estão em metros.

Parâmetro (T_tide)	Cálculo	BEIRA MAR	ARMACAO	LAGOA
Número de forma	$(O1+K1)/(M2+S2)$	0,41	0,51	0,94
Distorção M2	$M4/M2$	0,35	0,19	0,05
Altura de Sizígia	$(M2 + S2) + (O1 + K1),$	0,59	0,50	0,02
Altura de Quadratura	$(M2 - S2) + (O1 - K1),$	0,12	0,08	0,01

Parâmetro (MMQ)	Cálculo	BEIRA MAR	ARMACAO	LAGOA
Número de forma	$(O1+K1)/(M2+S2)$	0,26	0,49	0,78
Distorção M2	$M4/M2$	0,35	0,14	0,07
Altura de Sizígia	$(M2 + S2) + (O1 + K1),$	0,57	0,46	0,02
Altura de Quadratura	$(M2 - S2) + (O1 - K1),$	0,15	0,09	0,01

As alturas máximas (sizígia) foram de aproximadamente 0,57 metros, 0,5 metros e 0,02 metros e as alturas mínimas (quadratura) de aproximadamente 0,15 metros, 0,09 metros e 0,01 metros para as estações Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa, respectivamente. Nota-se que as alturas de sizígia e quadratura dentro do corpo lagunar da Lagoa da Conceição não se diferem muito entre si e possuem valores bem menores do que as alturas de sizígia e quadratura nas demais estações. A Tabela 8 a seguir, apresenta a contribuição energética estimada das marés de sizígia e quadratura durante os picos máximos e mínimos citados anteriormente para a baía e Praia da Armação (Tabela 4).

Tabela 8: Contribuição energética estimada das marés de sizígia e quadratura durante os picos máximos e mínimos para a baía e praia, para as maiores séries contínuas.

Estações maregráficas	Beira mar	Armação
Máxima (m)	3,35	2,23
Altura de sizígia (m)	0,59	0,5
Contribuição energética da Maré de Sizígia (%)	18	22
Mínima (m)	0,19	0,07
Altura de quadratura (m)	0,12	0,08
Contribuição energética da Maré de Quadratura (%)	63	114

Pelos resultados, nota-se a contribuição energética da maré de sizígia em 18% para o pico máximo encontrado (maior valor encontrado na série) na baía e 22% para o encontrado na praia, enquanto que para a maré de quadratura, há 63% da contribuição energética da maré para o pico mínimo (menor valor encontrado na série) na baía e 114% para o pico mínimo encontrado na praia.

Sabe-se que o principal harmônico da frequência fundamental M2 corresponde ao componente M4, quando a onda de maré encontra condições de águas rasas. A razão M4/M2 das amplitudes é usada como uma medida de distorção do componente principal semidiurna e reflete os efeitos dissipativos do sistema, assim como a transferência de energia espectral do componente M2 para M4 (Miyao & Harari, 1989). Sendo assim, nota-se que a componente de água rasa M4 representa 35% da amplitude do componente M2 na baía, 14% em Armação e 7% para a laguna.

Com os resultados citados acima, foi proposto a verificação da tendência de quanto a oscilação do nível do mar medido se assemelha às oscilações da maré astronômica estimada. A Figura 11, a seguir, representa a maré astronômica estimada e os valores de níveis medidos para toda a série temporal em cada estação. Observa-se na E.M Beira Mar Norte e Armação que os dados medidos seguem o padrão das oscilações de nível da maré astronômica estimada. O que não se observa na E.M. Barra da Lagoa (Lagoa da Conceição), onde a influência da maré astronômica é visivelmente reduzida.

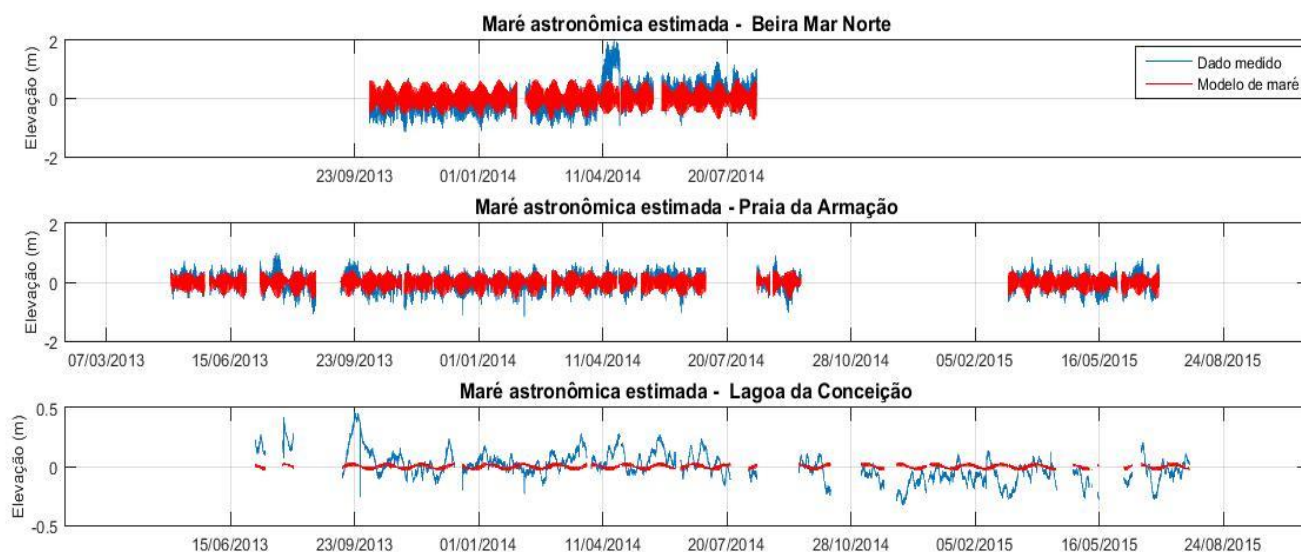


Figura 11: Maré astronômica estimada pelo método dos mínimos quadrados para as estações representada pela linha vermelha juntamente com os dados medidos em azul.

Em seguida, foi estimada as marés meteorológicas para as maiores séries contínuas (sem dados ausentes). A Figura 12 representa os dados medidos (linha azul), a maré astronômica (linha vermelha inferior) e efeitos não lineares (linha vermelha superior), que contém majoritariamente o sinal da maré meteorológica, para que se possa verificar a tendência em que os dados medidos se assemelham, em oscilação, quando comparados à maré meteorológica em um espaço amostral menor.

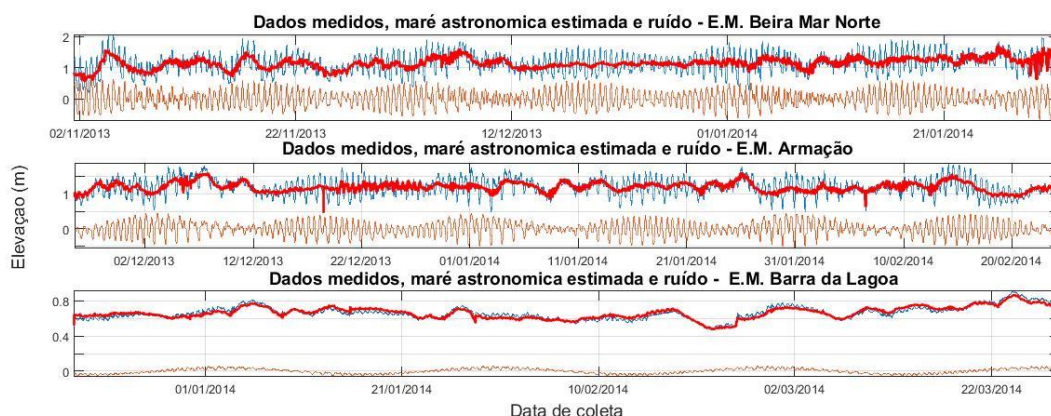


Figura 12: Variação do nível para as maiores séries contínuas nas Estações Maregráficas Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa (Lagoa da Conceição): medido (linha azul), astronômico (linha vermelha inferior) e meteorológico ou ruído (linha vermelha superior).

Nota-se que a contribuição da maré astronômica é mais expressiva em região de praia e baía enquanto que, dentro do corpo lagunar, as variações de nível seguem o comportamento bastante semelhante ao da maré meteorológica, corroborando com o encontrado na Figura 11.

Assim, foi verificada por meio do coeficiente de Pearson, a correlação entre os dados de níveis com as marés astronômica e meteorológica para toda a série temporal. A Tabela 9 expressa os valores de correlação dos dados medidos com as marés astronômica e meteorológica através do Coeficiente de Pearson. Pelos resultados nota-se que há valores positivos para todas as estações, o que indica que há correlação linear positiva entre as marés e as oscilações de nível.

Em relação a quão forte é essa correlação para toda a série temporal, a maré astronômica apresenta correlação moderada a forte apenas para a região da Praia da Armação, sendo fraca para as outras regiões. Para a maré meteorológica, que se sobressai sobre a astronômica em todas as estações, na baía e praia há correlação forte enquanto que na laguna há correlação muito forte.

Tabela 9: Valores do coeficiente de correlação de Pearson entre os valores de nível com as marés astronômica e meteorológica para cada estação maregráfica e para todo o período temporal.

Maré (nível)	Coeficiente de Pearson		
	Beira Mar Norte	Armação	Lagoa da Conceição
Astronômica	0,57	0,69	0,13
Meteorológica	0,82	0,72	0,99

6.4 ANÁLISE ESPECTRAL

A maré registrada num determinado local tem energia em várias bandas de frequência. A Figura 13 apresenta o espectro de frequência dos três ambientes costeiros estudados durante toda a série temporal, onde se pode distinguir os tipos de harmônicos da maré: longo período (LP), diurna (D), semidiurna (SD), águas rasas (AR) que inclui as bandas terci-diurna (TD) e quarto-diurna (QD).

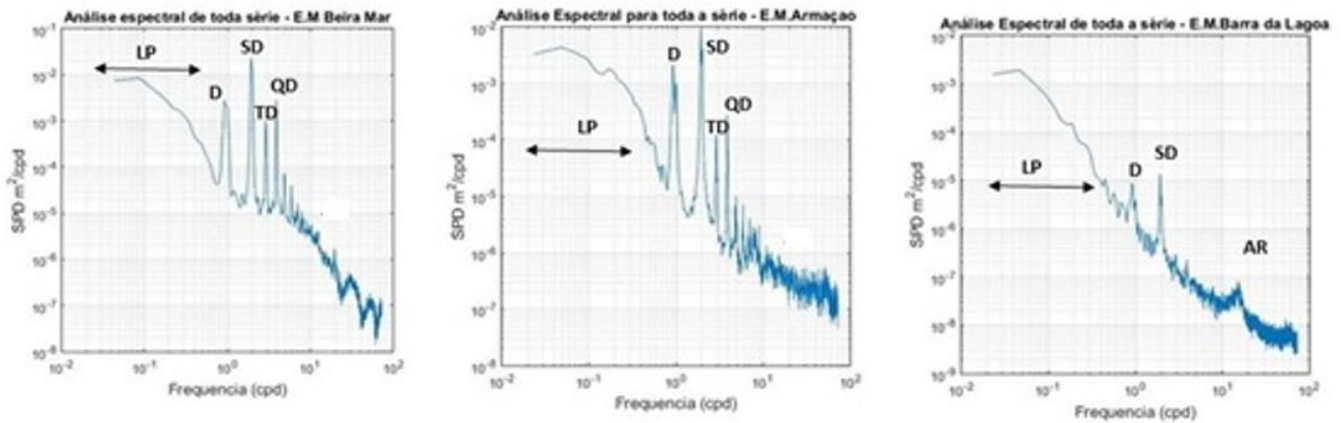


Figura 13: Análise espectral do nível do mar para as estações. As figuras representam as análises espectrais para cada estação durante todo espaço temporal, em dias. As principais bandas de frequência estão apontadas nos gráficos: longo período (LP), diurna (D), semidiurna (SD), terci-diurna (TD), quarto-diurna (QD) e águas rasas (AR).

A análise espectral da maré registrada durante toda a série temporal no ambiente de baía indica que há dominância energética das frequências do tipo semidiurna nas oscilações de nível, seguida das baixas frequências de longo período, diurnas e de águas rasas, onde os harmônicos de águas rasas terci e quarto diurnos são bem evidentes e que sugerem influência na hidrodinâmica local.

Nota-se aqui que os resultados encontrados pela análise espectral para as altas frequências corroboram com os encontrados pela análise harmônica (Tabela 6) que aponta o tipo de maré semidiurna como responsável, no percentual de elevação, por 53%, seguido pelo tipo de águas rasas com 27% e diurnas em 20%. As baixas frequências, contudo, estão associadas à maré meteorológica (submaré) que possui correlação positiva e forte com as elevações de nível, de forma ainda mais intensa do que a maré astronômica, o que explica seu elevado percentual energético observado na análise espectral.

Um padrão espectral semelhante foi encontrado para a Praia da Armação. O que a difere da baía e que também corrobora com a análise harmônica (Tabela 6) é devido a frequência do tipo de maré diurna ser maior do que a do tipo de águas rasas. Comparando os resultados das duas análises para os tipos de maré de alta frequência, o tipo de maré semidiurna é apontado pela análise harmônica como responsável, no percentual de elevação, por 54%, seguido pelo tipo diurno, com 28% e, de águas rasas, em 13%. Pelo espectro observa-se maior expressão da banda diurna sobre a de águas rasas. Nota-se, mais uma vez, que a banda de baixa frequência da maré meteorológica é bastante energética no sistema, o que condiz com a correlação linear positiva e forte encontrado pelo coeficiente de Pearson, o que ressalta também a importância da maré meteorológica para o ambiente e região.

Observa-se que na laguna a banda mais energética é, e de forma mais expressiva e evidente, a banda de baixa frequência associada à maré meteorológica, o que

corroborar com os resultados anteriores e pela análise harmônica, em que o maior percentual de elevação está associado aos harmônicos de baixa frequência com 40%. Nota-se também a diminuição significativa das bandas de alta frequência, onde não há os componentes de águas terci e quarto-diurnas, sendo esses componentes apontados por um pico discreto no espectro. Já, as bandas semidiurnas e diurnas aparecem em picos bem menores quando comparado aos demais ambientes, com expressão pouco maior da banda semidiurna do que a diurna. Esses resultados corroboram novamente com a análise harmônica (Tabela 6). Essa diminuição significativa das altas frequências é atribuída à atenuação das oscilações de nível pelo canal da Barra da Lagoa da Conceição e que será discutido mais adiante nesse trabalho.

Com o intuito de quantificar a contribuição energética dos tipos de marés nas variações de nível medidos sem possibilidade de erros associados a dados faltantes, foi proposta a análise espectral de nível das maiores séries contínuas, representada pela Figura 14. As frequências adotadas para enquadrar as bandas energéticas encontradas foram descritas por Zavialov *et al* (2002) (Tabela 3) e os resultados na contribuição energética de cada tipo de maré na elevação de nível para a baía, praia e laguna encontram-se na Tabela 10.

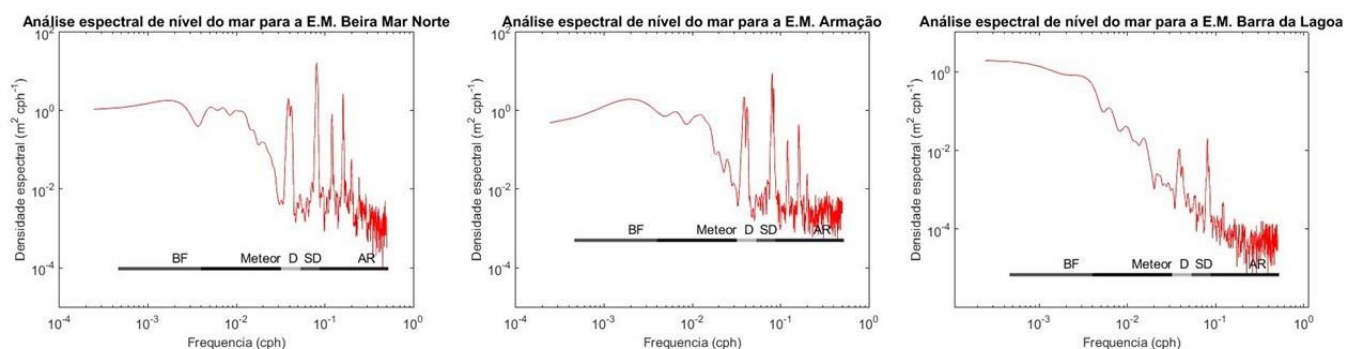


Figura 14: Análise espectral do nível do mar para as estações maregráficas. Os símbolos BF, M, D, SD, AR referem-se respectivamente às bandas de baixa frequência, meteorológica, diurna, semidiurna, e águas rasas.

Tabela 10: Contribuição energética derivada da análise espectral de nível para as estações maregráficas distribuídas de acordo com as bandas de frequência (Zavialov et al, 2002).

Tipo de maré	Bandas de frequência (cph)	Período(h)	Contribuição energética na maré (%)		
			baía	praia	laguna
Meteorológica	$0,00417 < f \leq 0,03333$	$30 < T \leq 240$	13,15	19,82	81,97
Diurna	$0,03333 < f \leq 0,05555$	$18 < T \leq 30$	9,23	15,88	6,02
Semidiurna	$0,05555 < f \leq 0,09090$	$11 < T \leq 18$	64,25	56,27	8,25
Águas rasas	$0,09090 < f \leq 0,50000$	$2 < T \leq 11$	13,36	8,02	3,71

Foi encontrado pela análise espectral da maior série contínua para o ambiente de baía, a maior contribuição energética da banda semidiurna no percentual de elevação (64,25%), seguido da banda das marés de águas rasas (13,36%), meteorológica e baixa frequência (13,15%) e diurna (9,23%). Para a praia houve dominâncias também da banda semidiurna (56,27%), seguida das marés meteorológica (19,82%), diurna (15,88%) e águas rasas (8,02%). Para a laguna, a banda dominante foi a meteorológica (81,97%), seguidas das bandas semidiurnas (8,25%), diurna (6,02%) e águas rasas (3,71%). Os resultados encontrados pelas maiores séries contínuas condizem, corroboram e pouco se diferem com os resultados descritos anteriormente.

A Figura 15, a seguir, representa a análise espectral comparada entre os dados medidos e a maré meteorológica. Nota-se primeiramente que para a baía e a praia, há relação entre os sinais da maré meteorológica e dos dados medidos. Como dito anteriormente, as elevações de nível respondem à maré meteorológica. Contudo, os dados medidos se mostram mais energéticos em determinados pontos e com picos diferenciados, o que evidencia a contribuição da maré astronômica nesses ambientes. Nota-se que para um mesmo dia, há dois picos semelhantes visíveis no sinal dos dados medidos, o que corrobora com a classificação de maré mista, com predominância semidiurna (dois picos em aproximadamente 24 horas) e com influência do tipo diurno, também presente no espectro. Há, ainda, contribuição energética do tipo de maré de águas rasas com influência das bandas terci e quarto-diurnas. Assim, evidencia-se a influência da maré astronômica nesses ambientes e sua importância na compreensão nas oscilações de nível do mar para o ambiente de Baía Norte e Praia de Armação, mesmo que a maré meteorológica se mostre com correlação mais forte com os dados medidos do que quando comparada a maré astronômica.

Para a laguna, as diferenças energéticas dos dados medidos são visivelmente reduzidas, o que sugere mais uma vez que as variações de nível dentro do corpo lagunar respondem à maré meteorológica e que essa possui baixíssima influência da maré astronômica. Nota-se aqui a influência da maré astronômica sobre os ambientes de baía e praia, uma vez que a elevação do nível responde às frequências energéticas dos componentes, sendo consideravelmente reduzidas dentro do corpo lagunar.

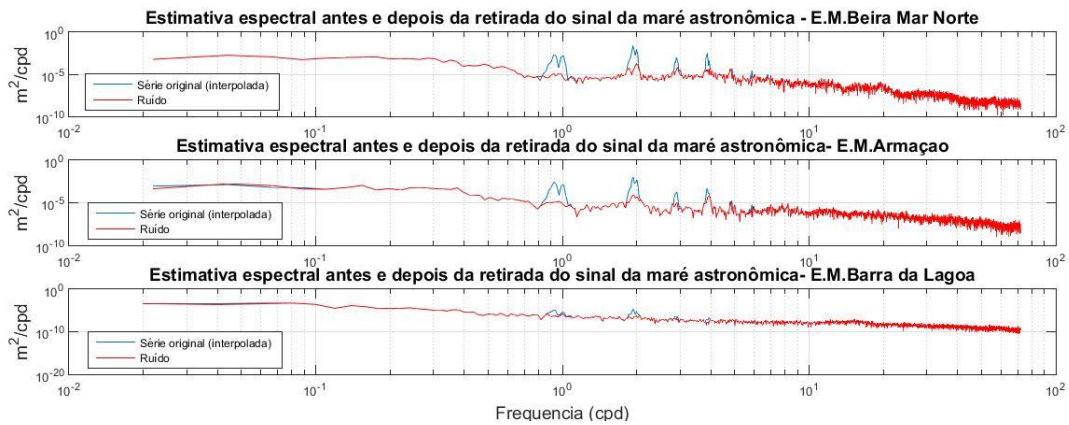


Figura 15: Estimativa espectral antes e depois da remoção da maré astronômica.

Por meio dos resultados obtidos, até então, fica evidente a contribuição predominante da maré meteorológica sobre a astronômica para as elevações de níveis dentro do corpo lagunar e de sua importância para os demais ambientes. Assim, é possível observar que a maré meteorológica é de grande importância para a compreensão das elevações de nível para as regiões costeiras estudadas, em especial em relação as variações de nível dentro da Lagoa da Conceição, que parecem não responder às fases da Lua e que, pelo canal de comunicação entre laguna e mar aberto, ocorre a atenuação da onda de maré astronômica e de seus componentes energéticos principais. Foi apontado por estudos pretéritos a importância da maré meteorológica para a variação de nível na Lagoa da Conceição que sugerem maior influência dos fenômenos atmosféricos quando comparados à maré astronômica (Godoy, 2008; Lino, 2005; Rocha, 2007; Odreski, 2012) e que corroboram aqui com os resultados encontrados.

6.5 ATENUAÇÃO DA MARÉ

O estudo pretérito realizado por Godoy *et al* (2008) aponta que os valores de atenuação total da onda de maré se dá na ordem de 84%. Esse resultado se mostrou compatível com o estudo de Pereira (2004), em que a maré astronômica é atenuada pela morfologia do canal, podendo chegar a 90% de atenuação na desembocadura lagunar. A Tabela 11 representa o percentual de atenuação dos harmônicos de maré astronômica pelo canal da Barra da Lagoa para o período de 18 de dezembro de 2013 a 24 de fevereiro de 2014.

Tabela 11: Percentual de atenuação dos tipos de maré astronômica pelo canal da Barra da Lagoa para o período de 18/12/2013 a 24/02/2014.

Tipo de maré	Atenuação
Diurnas	94%
Semidiurnas	97%
Longo Período	48%
Água rasa	97%
Total	94%

Foi utilizada para essa estimativa os resultados encontrados nas estações maregráficas da Praia da Armação e Barra da Lagoa. Em relação a maré astronômica e através das amplitudes encontradas para toda a série temporal, cerca de 94% dos harmônicos estatisticamente significativos que chegam dentro do corpo lagunar são atenuados pelo canal. Desses, os tipos de maré principais de alta frequência são atenuados em 97% (semidiurnas e águas rasas) e 94% (diurnas). Para os harmônicos de longo período há cerca de 48% de atenuação, sendo menos atenuadas do que as demais.

Corroborando com o resultado, através da análise espectral encontrada na Figura 14, é observado que os componentes de alta frequência de oscilação (SD, TD e QD) são significativamente atenuados pelo canal. Isso implica maior propagação dessa banda de baixa-frequência para dentro do corpo lagunar quando comparada as bandas de alta-frequência, como encontrados em estudos pretéritos (Godoy *et al*, 2004; Fernandes *et al*, 2008; Kjerfve *et al*, 1990; Kjerfve & Knoppers, 1991; Kjerfve *et al*, 1996).

Assim, em função dos resultados anteriores, foi investigado se há maior acréscimo energético nas baixas frequências (submaré) devido a possíveis entradas de frentes frias no sistema, como citado por estudos de (Moller *et al*, 1996; Fernandes *et al* 2004), adotando-se as frequências descritas por Zavialov *et al* (2002) encontradas na Tabela 3, para os meses de janeiro (verão, 01 de janeiro de 2015 a 31 de janeiro de 2015) e julho (inverno, 20 de junho de 2015 a 20 de julho de 2015). A Figura 16 mostra o resultado da análise espectral do nível da Lagoa da Conceição para os meses de janeiro e julho de 2015.

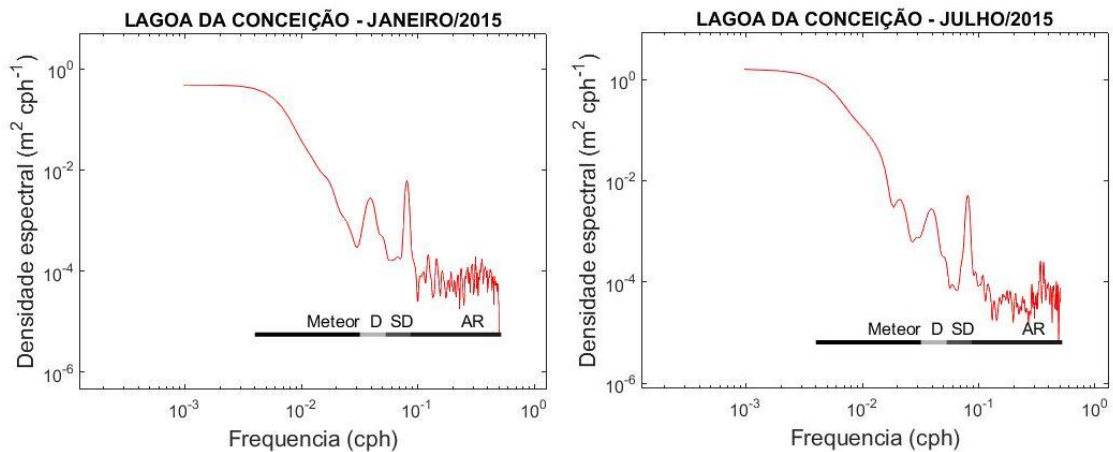


Figura 16: Análise espectral do nível da Lagoa da Conceição para os meses de janeiro e julho de 2015. Os símbolos M, D, SD, Sw referem-se respectivamente às bandas de; baixa frequência, meteorológica, diurna, semidiurna, e águas rasas.

Pela análise espectral é possível perceber um acréscimo de energia para as bandas de baixa frequência e meteorológica. Para o mês de verão, houve dominância da banda meteorológica (89,86%), seguidas das bandas semidiurnas (4,48%), águas rasas (3,04%) e diurna (2,50%). Para o mês de inverno também houve dominância da banda meteorológica (95,76%), seguida das bandas semidiurnas (1,79%), diurna (1,22%) e águas rasas (1,16%). Através da comparação entre as bandas dominantes meteorológicas, houve aumento de aproximadamente 6% na contribuição energética para a elevação de nível dentro do corpo lagunar.

Entretanto, para um resultado mais preciso, faz-se necessário maior investigação dos fatores meteorológicos e hidrodinâmicos para identificar com maior acurácia os períodos de oscilação da componente meteorológica, assim como períodos temporais mais longos. Ribeiro (2008) atesta que, para a análise dos constituintes, tudo é relativo e torna-se necessário considerar todos os fatores que interagem e influenciam no comportamento dos constantes harmônicos. Sendo assim, é importante ressaltar que esse estudo possui limitações sobre a compreensão total do fenômeno de maré nas regiões estudadas, pois, para caracterizar a onda total de maré, mais informações deveriam ser consideradas, tais como dados meteorológicos mais consistentes e séries de dados maiores e mais regulares.

Da mesma forma, em se tratando da progressão da onda de maré em águas rasas, onde é influenciada por efeitos não lineares que contribuem na distorção e dissipação de energia, fatores como o efeito de (1) a influência da fricção do fundo e constrição lateral do canal; (2) a configuração da costa que impõem variações na direção de fluxos de marés, e (3) a profundidade da coluna de água, que agora seriam comparável em escala com a amplitude da maré (Trucollo, 1999 apud Pugh, 1987; Dyer, 1997) também deveriam ser avaliadas e incorporadas ao estudo para caracterizar a onda total de maré e verificação de ressonância dentro da baía.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram investigadas series temporais *in situ* de medição de nível adquiridas por marégrafos para as regiões costeiras distintas da Baía Norte, Praia da Armação e Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. As séries foram processadas para melhor qualidade dos dados, com verificação e remoção de dados espúrios para posteriormente realizar as análises harmônicas e espectrais para cada local proposto. Dados de vento foram correlacionados para melhor interpretação dos resultados e foram obtidos por reanálise. Por fim, foi verificada a atenuação de nível pelo canal comunicante da Barra da Lagoa, que liga a laguna a mar aberto, através do domínio de frequência dos principais tipos de marés, com especial ênfase no acréscimo de energia para a banda meteorológica e de baixa frequência entre verão e inverno.

O regime de ventos para a região e período foi de sudeste e nordeste, com intensidades predominantes de $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e frequência de 1 a 3 dias. O regime de maré para as três estações é do tipo misto, predominantemente semidiurna com desigualdades diurna. As amplitudes médias de maré para a Baía Norte foi de 1,98 a 1,17 metros, para a Praia da Armação 0,98 a 1,17 metros e para a Lagoa da Conceição 0,46 a 0,33 metros, com valores máximos de 3,35 metros, 2,23 metros e 1,09 metros e mínimos de 0,19 metros, 0,07 metros e 0,29 metros, na mesma ordem. Os picos máximos e mínimos nas regiões de baía e praia se mostraram condizentes com as marés de sizígia e quadratura, respectivamente. Enquanto que na laguna essa associação não foi encontrada o que sugere fatores meteorológicos e não lineares como dominantes na elevação de nível dentro do corpo lagunar.

A análise harmônica revelou um total de 27, 29 e 20 harmônicos estatisticamente significativos para as E.M Beira Mar Norte, Armação e Barra da Lagoa, respectivamente. O tipo de maré que mais contribui para a elevação de nível, em se tratando de maré astronômica, foi do tipo de alta frequência semidiurna para as regiões de baía e praia, e para a laguna o tipo de maré de baixa frequência longo período se mostrou mais energética. Verificou-se que tanto baía como praia seguem o padrão oscilatório da maré astronômica estimada, enquanto a laguna segue o padrão da maré meteorológica. Pelo coeficiente de Pearson nota-se que há correlação linear positiva entre as marés e os dados medidos, onde a maré astronômica tem correlação moderada a forte apenas para a região da Praia da Armação, sendo fraca para as outras regiões. Já para a maré meteorológica, que se sobressai sobre a astronômica em todas as estações, há correlação forte para baía e praia e muito forte na região lagunar.

O domínio das frequências dado pela análise espectral das séries temporais revelou para a região da Baía Norte e Praia da Armação, a dominância na contribuição energética do tipo de maré de alta frequência semidiurna, seguida do tipo de baixa frequência longo período, e dos tipos de alta frequência diurna e águas rasas, com influência das bandas terci e quarto-diurnas. Para a Lagoa da Conceição, as baixas

frequências são as mais energéticas e foi possível observar a atenuação das bandas de altas frequências, em que os picos das bandas semidiurna e diurna foram visivelmente reduzidos, enquanto as bandas terci e quarto-diurnas não aparecem. Foi realizada para as maiores séries contínuas de cada estação, a estimativa dos tipos de maré na contribuição energética nas elevações de nível, que se mostraram compatíveis com o encontrado para as séries totais. As análises espectrais corroboraram com as análises harmônicas e a correlação positiva apontada pelo Coeficiente de Pearson. Por fim, foi verificada a diferença energética entre os espectros da maré meteorológica com os dados medidos e foi possível concluir que, embora a maré meteorológica exerça maior influência sobre as oscilações de nível, a maré astronômica deve ser considerada para a compreensão das oscilações de nível nos ambientes de baía e praia, ainda que possua baixíssima influência sobre as oscilações de nível dentro do corpo lagunar. Essa baixa influência da maré astronômica nas oscilações de nível na laguna pode ser explicada por sua atenuação pelo canal da Barra da Lagoa.

Em relação a essa atenuação para dentro do corpo lagunar em relação a maré astronômica e através das amplitudes encontradas para toda a série temporal, foi encontrado que os harmônicos estatisticamente significativos que chegam dentro do corpo lagunar sofreram atenuação de 94% pelo canal. Esse resultado está de acordo com o encontrado por estudos pretéritos de Godoy *et al* (2008) e Pereira (2004), que estimaram para o mesmo local, atenuação de nível em 84% e 90%, respectivamente. Para verificação se há ou não aumento na contribuição energética da banda energética de baixas frequências (submaré) nas oscilações de nível devido a sazonalidade, ou seja, acréscimo energético devido a passagem de frentes frias, foi constatado um aumento de aproximadamente 6% na contribuição energética para a elevação de nível dentro do corpo lagunar da banda meteorológica no mês de julho de 2015 (inverno) quando comparado ao mês de janeiro de 2015 (verão)

Entretanto, é importante ressaltar que faz-se necessário maior investigação dos fatores meteorológicos e hidrodinâmicos para identificar com maior acurácia os períodos de oscilação da componente meteorológica, pois para a análise dos constituintes, tudo é relativo e torna-se necessário considerar todos os fatores que interagem e influenciam no comportamento dos constantes harmônicos (Ribeiro, 2008), da mesma forma, maiores séries temporais sazonais de variação de nível do mar seriam ideias para estimar com maior precisão o acréscimo de energia por passagem de frentes frias, bem como dados de vento mais consistentes para identificação mais precisa da passagem e intensidade de frentes frias.

8 REFERÊNCIAS

- Abreu de Castilhos, J.A.(1995). **Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da planície costeira e Praia de Armação – ilha de Santa Catarina, SC.** Florianópolis, 134f. Dissertação de mestrado, curso de pós-graduação em geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
- Andrade, R. C. 2001. **Estudo da circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, SC.** Dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Antunes, C., Godinho, J.M. (2011). **Estudo da análise harmônica da maré aplicada ao marégrafo de cascais.** VIICNCG – Conferencia da análise Nacional de Cartografia e Geodesia, Porto.
- Araújo, R. S. (2008). **Morfologia do Perfil, Sedimentologia e Evolução Histórica da Linha de Costa das Praias da Enseada do Itapocorói – Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Itajaí.
- Bento, C.; Roso, R.; Arentz, M. (2006). **Aplicação dos dados de maré nas atividades da hidrografia e da navegação.** Anais Hidrográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Tomo LXIII.
- Brown, Joan. Tides, (1989). **Waves, tides and shallow - water processes.** In: OPEN UNIVERSITY. ARTS FOUNDATION COURSE TEAM. Oxford: Pergamon Press. Cap. 2, p. 43-66, 1989.
- Camargo, R., Campos, R. M. (2006). **Composites of sea level pressure and surface winds in the Western South Atlantic related to storm surge activity in Santos, Brazil.** In: ICSHMO, 8., Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu: INPE p. 3-5.
- CECCA: **Uma cidade numa ilha: relatório sobre problemas sócios-ambientais da Ilha de Santa Catarina, SC.** Centro de Estudos Cultura e Cidadania- CECCA – Florianópolis, Insular, CECCA, 1997.
- Cartwright, D. E., Edden, A. C. (1973). **Corrected tables of tidal harmonics.** Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society. v.33, p. 33: 253-264, 1973.
- Davis, J.L.(1964). **A morphologic approach to the world's shorelines. Geomorphology.** 8:p.127-142.
- Defant, A., (1961). **Physical Oceanography.** Pergamon press Oxford London - New York - Paris 1960, vol 2.
- Dyer, K. (1997). **Estuaries, a Physical Introduction.** 2° Ed. New York, John Wiley and Sons, 195pp

Fernandes, E., H., Tapis, I., M., Dyers, K., R., Mooler, O, O. (2004). **The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary**. *Ocean Dynamics* (2004) 54: 348–359 DOI 10.1007/s10236-004-0090-y.

Fernandes, J.T.A. (2012). **Análise de séries temporais no domínio da frequência: importância do periodograma neste contexto**. Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências (FC)/ FC. (Tese).

Franco, A. S.,(2009). **Marés: Fundamentos, Análise e Previsão**. DHN, 2ª edição. 344pg. Niterói, 2009.

Fonseca, A., Oliveira, J.L.C, Bercovich, M.V. **Análise histórica da poluição fecal por efluentes domésticos nas Baías Norte e Sul da ilha de Santa Catarina, SC**, de 1995 a 2009. III Congresso Brasileiro de Oceanografia, CBO'2010. Rio Grande(RS), 17 a 21 de maio de 2010.

Garrison, T. (2010). **Essentials of oceanography**. CENTAGE Learning, 2017 pp.

Godoy, F.B.; Franco D.; Mário, H.F.S.(2008). **O Canal da Barra da Lagoa- um filtro de maré natural**. Anais do III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, Rio grande, 2008.

Godoy, F., B., (2009). **Modelagem hidrológico-hidrodinâmica da lagoa da conceição – sc**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. (Tese)

Godin, G. (1972). **The analysis of tides**. University of Toronto Press.

Júnior, L.A.A., (2011). **Caracterização hidrográfica da baía de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

Kjerfve, B., Knoppers, B.A., Moreira, P., Turcq, B., (1990). **Hydrological regimes in Lagoa de Guarapina, a shallow Brazilian coastal lagoon**. *Acta Limnol Brasil* III: 931–949.

Kjerfve, B., Knoppers, B., A., (1991) **Tidal choking in a coastal lagoon**. In: Parker BB (ed) *Tidal hydrodynamics*. pp 169–181.

Kjerfve, B., Schettini, C.,A.,F., Knoppers, B., Lessa, G., Ferreira, H., O. (1996). **Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil**. *Estuar Coast Shelf Sci* 42: 701–725.

Leprovost, C., (1991). **Generation of overtides and compound tides (review)**. In: *Tidal hydrodynamics* (Parker, B. B., ed.). John Wiley and Sons, New York, pp. 269- 295.

Lino, J.F.L, (2005). **Análise Numérica da Influência de Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas sobre a Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.** Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC.

Martins, L., Reis, J. (2007). **Nível médio, maré e análise harmónica.** 5 Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007.

Mazzer, A., M., Dillenbur, S., R., Souza, C., R., G., (2008). **Proposta de metodo para analise de vulnerabilidade a erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil.** Revista Brasileira de Geociencias, 38(2):p278-294.

Melo, E.; Martins, R.P; Franco, D. **Standing wave tide at Florianópolis Bay (Brazil) and its influence on bay pollution.** Anais do Bordomer 97, Amangement et Protection L.Environment Littoral Bordeaux, França, 1997 p. 143-151.

Miguens, A.P, (1996). **Marés e correntes de maré; correntes oceânicas.** In: **Navegação a ciência e a arte – navegação costeira, estimada e em águas restritas.** DHN, Marinha do Brasil. Volume I, cap. 10, p. 227-274. Niterói.

Miyao, S.; Harari, J., (1989). **Estudo preliminar da maré e das correntes de maré da região estuarina de Cananéia (25 S-48 W).** Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 107-123.

Miranda, L.B.; Castro, B.M.; Kjerfve, B. (2002). **Princípios de Oceanografia Física de Estuários,** Edusp (Editora da Universidade de São Paulo), São Paulo, SP, Brasil, ISBN: 85 314-0675-7. 414 p

Moller, O.O. (1996). **Hydrodynamique de la Lagune dos Patos. Menses et modelisation.** DSc Thesis, University of Bordeaux I, 204 pp.

Moller, O.O., Lorenzetti, J.A., Stech, J.L., Mata, M.M. (1996). **The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics.** Continental Shelf Res 16: 335–351

Nicolite, M., Truccolo, E.C., Schettini, C.A.F, Carvalho, C.E.V, (2009). **Oscilação do nível de agua e a co-oscilação da maré astronômica no baixo estuário do rio paraíba do sul, RJ.** Revista Brasileira de Geofísica (2009) 27(2): 225-239. Sociedade Brasileira de Geofísica.

Odreski, L.F.R. (2012). **Influencia hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2012.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S. (2002). **Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE,** Computers and Geosciences, 28, pp. 929-937. 2002.

- Parker, B. B., (1991). **The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (review)**. In: Tidal hydrodynamics (Parker, B. B., ed.). John Wiley and Sons, New York, pp. 237-268.
- Pereira, M. L. M. (2004). **Estudo da dinâmica das águas do canal da Barra - Barra da Lagoa – Florianópolis, SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.
- Porto Filho, E. & Bonetti Filho, J., (1997). **Considerações sobre a hidrodinâmica e o transporte de sedimentos no Canal da Barra, Florianópolis –SC**. In: Anais do XI Simpósio Nacional de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí: 514-516.
- Prudêncio, R.S. (2003). **Estudos numéricos da circulação induzida pela maré na Baía de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 107p.
- Pugh, D.T. (1987). **Tides, surges and mean sea level**. John Wiley & Son Ltd, 442 pp.
- Rodrigues, M.L.G, Franco, D., Sugahara, S. **Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Geofísica. INSS 0102-2610X.
- Romano, A., L., T. (1995). **Análise espectral e modelagem adaptativa de sinais em mar semi-fechado**. Tese submetida a faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Comunicações, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica.
- Rocha, C. B. M. (2007). **Implementação e uso do modelo Mike 21 na análise de cenários hidrodinâmicos na Lagoa da Conceição – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2007.
- Ribeiro, C. R. (2008). **Processos de alterações da maré astronômica na desembocadura da lagoa dos patos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceanica), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2008.
- Rossiter, J.R., Lennon, G.W (1968). **An intensive analysis of shallow water tides**. Geophys. J. R. astr. SOC. (1968) 16,275-293.
- Simó, D.H., Filho, N.O.H.(2004). **Caracterização e distribuição espacial das “ressacas” e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. GRAVEL, ISSN 1678-5975. N2, 93-103. Porto Alegre. Outubro, 2004.
- Speer, P. E. e Aubrey, D. G. (1985). **A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet-estuarine systems**. Part II: Theory. Est. Coast. Shelf Sci. 21, 207-224.

Truccolo, E.C, (1998). **Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul – SC.** Florianópolis, 100p. Dissertação de mestrado, programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

Truccolo, E.C., Schettini C., A., F, (1999). **Marés astronômicas na Baía da Babitonga, SC.** Notas técnica facimar, 3: 57-66, 1999.

Vanz, A., Garbossa, H.P. Fernandes, L.G. Boll, M., Souza, R.V.,Vianna, L.F., Rupp, G. (2015). **Efeito de variáveis meteorológicas sobre o comportamento do nível do mar na costa catarinense, brasil.** VIII Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.

Valdés, J.G, Delgado, J.A, Dworak, J.A.(2003). **Overtides, compound tides, and tidal-residual current in Ensenada de la Paz lagoon, Baja California Sur, Mexico.**Geofísica Internacional (2003), Vol. 42, Num. 4, pp. 623-634.

Vellozo, T.G. e Alves, A.R.(2004). **Características gerais do fenômeno da maré no Brasil.** Anais Hidrográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação, Tomo LXI, 2004.

Welch, P. (1967). **The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectral: a method based on time averaging over short, modified periodograms.** Audio and Electroacoustics, IEEE Transactions (ISSN: 0018-9278).

Zavialov, P., Moller Jr.; O., Campos, E., (2002). **First Direct measurements of currents on the continental shelf of Southern Brazil.** Continental Shelf Research, Vol. 22, 1975-1986.

WEBSITES

<http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php>

<http://www.marinha.mil.br/>

<http://astro.if.ufrgs.br/fase/MoonPhases.html>