

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
BRUNNA LUIZA SILVA SIMONETTI

**MODELAGEM NUMÉRICA DA MARÉ ASTRONÔMICA NAS BAÍAS DE  
FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis  
2016

BRUNNA LUIZA SILVA SIMONETTI

**MODELAGEM NUMÉRICA DA MARÉ ASTRONÔMICA NAS BAÍAS DE  
FLORIANÓPOLIS**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Härter Fetter Filho.

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Luiza Silva Simonetti, Brunna  
Modelagem Numérica da Maré Astronômica nas Baías de  
Florianópolis / Brunna Luiza Silva Simonetti ; orientador,  
Antonio Fernando Härter Fetter Filho - Florianópolis, SC,  
2016.  
52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Filosofia e Ciências Humanas. Graduação em Oceanografia.

Inclui referências

1. Oceanografia. 2. Regional Ocean Modeling System. 3.  
Maré astronômica. 4. Baía de Florianópolis. I. Fernando Härter  
Fetter Filho, Antonio. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Oceanografia. III. Título.

Brunna Luiza Silva Simonetti

**MODELAGEM NUMÉRICA DA MARÉ ASTRONÔMICA NAS BAÍAS DE  
FLORIANÓPOLIS**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Florianópolis, 23 de novembro de 2016.

---

Prof.<sup>a</sup> Carla Van Der Haagen Custodio Bonetti, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenadora do Curso

---

Prof. Antonio Fernando Härter Fetter Filho, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Antonio Fernando Härter Fetter Filho, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Felipe Mendonça Pimenta, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me guiar durante toda vida, ao me conceder sabedoria para escolher os caminhos trilhados, por toda a força necessária nos momentos difíceis e que estive longe da minha família com a certeza de que tudo valeria a pena.

Aos meus anjos: Vovô Clenio, que mesmo não estando fisicamente presente, continua sendo o meu exemplo de vida, a Madrinha tia Cida e Padrinho Frederico, por toda a proteção.

A minha avó Conceição pelo carinho, dedicação e apoio, por ser o exemplo de mulher batalhadora que está presente todos os dias em minha vida.

Aos meus pais Jacqueline e Hélio, pela paciência, confiança, compreensão, incentivo e amor imensurável dedicados a mim, inclusive nos momentos de dúvida e dificuldades em relação à vida profissional. Vocês são os melhores pais que alguém pode ter!

Ao meu filhote, Hachi, por ser o melhor companheiro que alguém pode ter, protagonizando momentos de descontração, paz e alegria.

As minhas irmãs Marcella e Amanda por trilharem a vida comigo, pela compreensão, pelos puxões de orelha, e principalmente, pelo carinho e amizade, vocês são meu porto seguro.

A todos os meus primos pelos momentos de lazer, amizade e descontração vocês deixam tudo mais leve! A toda minha família por todos os momentos e por fazerem minha vida mais completa e feliz.

A Marcieli e Debora, pelo apoio durante todo o curso, vocês tornaram essa viagem uma experiência única, da qual levarei muitas memórias boas e inesquecíveis.

Ao meu amigo Jean, por todas as horas de programação. Sem o seu suporte e paciência eu não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador Prof. Antonio Fernando Härter Fetter Filho, pelo suporte, dedicação, incentivo e por todo o conhecimento adquirido no período de pesquisa.

À equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira e a empresa CB&I por terem cedido dados importantes para a realização das simulações numéricas.

## RESUMO

Uma gestão de boa qualidade em ambientes costeiros requer o prévio conhecimento da hidrodinâmica local, adquirido somente quando se entende os padrões de circulação, controlada principalmente pela descarga fluvial, correntes de maré, cisalhamento do vento e pela geometria da região. Este estudo faz uma abordagem do comportamento da maré astronômica e das correntes de maré nas Baías de Florianópolis dentro de um cenário idealizado, onde a única variável tratada como forçante é o efeito da maré astronômica. Para este fim, foi utilizado o modelo numérico computacional *Regional Ocean Modeling System* (ROMS). A validação do modelo foi realizada em dois pontos do domínio de estudo. Somente as quatro componentes principais foram analisadas: M2, S2, O1 e K1. Os resultados de correntes de maré e nível foram avaliados em duas simulações distintas. As máximas velocidades de corrente foram identificadas nas entradas da Baía Sul e na área do estreitamento central, enquanto as máximas amplitudes eram distribuídas na porção Norte. As simulações mostram que o resultado obtido da modelagem numérica é bastante sensível à batimetria das baías, especialmente, nos estrangulamentos do Estreito e da entrada da Baía Sul.

**Palavras-chaves:** *Regional Ocean Modeling System*. Maré astronômica. Baía de Florianópolis.

## ABSTRACT

A good quality management in coastal environments requires prior information of hydrodynamics, acquired only when you understand the local circulation patterns, controlled mainly by river discharge, the tidal currents, wind shear and the geometry of the region. This study aims to understand the propagation of the astronomical tide and tidal currents in the Bay of Florianópolis in an idealized scenario where the only variable treated as circulation forcing is the effect of the astronomical tide. To this end, it was used the computer numerical model Regional Ocean Modeling System (ROMS). Model validation was performed in two parts of the study area. Only the four main components were analyzed: M2, S2, O1 and K1. The results of tidal currents and level were evaluated in two different simulations. The maximum current velocities were identified at the South Bay entrances and at the central narrowing area, while the maximum amplitudes were distributed in the North portion. The simulations showed that the results are quite sensible to the bathymetry of the bays, specially, at its choking points, at Estreito and at the entrance of the South Bay.

**Keywords:** Regional Ocean Modeling System. Astronomical tide. Florianópolis Bay.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maré astronômica prevista pelo modelo TPXO 7.2 para o mês de julho de 2016 no ponto de latitude -27.5968 e longitude -48.5655. Fonte: Autora (2016).....	18
Figura 2 - Localização da região de estudo. Fonte: Autora (2016). ....	21
Figura 3 - Discretização horizontal - Escalonamento da grade horizontal. Fonte: Ocean Modeling Group (2016).....	27
Figura 4 - Grade batimétrica regional, a escala batimétrica esta em metros. Fonte: Autora (2016). ....	28
Figura 5 - Localização das estações maregráficas. Fonte: Autora (2016).....	32
Figura 6 - Comparação entre maré modelada (azul) e maré prevista (vermelho) para um período de 30 dias na Praia da Armação – SC. Fonte: Autora (2016). ....	33
Figura 7 - Comparação entre maré modelada (azul) e maré prevista (vermelho) para um período de 30 dias na Beira Mar – SC. Fonte: Autora (2016).....	33
Figura 8 - Amplitude e fase da constituinte M2 da maré modelada. Fonte: Autora (2016).....	35
Figura 9 - Amplitude e da constituinte S2 da maré modelada. Fonte: Autora (2016). ....	36
Figura 10 - Amplitude e fase da constituinte O1 da maré modelada. Fonte: Autora (2016). ..	36
Figura 11 - Amplitude e fase da constituinte K1 da maré modelada. Fonte: Autora (2016). ..	37
Figura 12 - Diferença da geometria entre as simulações na Embocadura da Baía Sul. ....	37
Figura 13 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante vazante - 02 de dezembro de 2013. Fonte: Autora (2016).....	38
Figura 14 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante enchente - 02 de dezembro de 2013. Fonte: Autora (2016).....	40
Figura 15 - Corte longitudinal e perfis longitudinais do nível da água na Baía de Florianópolis ao longo de um ciclo de maré M2. O tempo refere-se a alta Maré na entrada sul. Fonte: Autora (2016). ....	41
Figura 16 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante vazante - 02 de dezembro de 2013. Fonte: Autora (2016).....	42
Figura 17 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante enchente - 02 de dezembro de 2013. Fonte: Autora (2016).....	43
Figura 18 - A) Máxima corrente de maré enchente (corrente para sul). B) Máxima corrente de maré vazante (corrente para norte). Fonte: CB&I (2010). ....	43
Figura 19 - Corte longitudinal e perfis longitudinais do nível da água na Baía de Florianópolis ao longo de um ciclo de maré M2. O tempo refere-se a alta Maré na entrada sul. Fonte: Autora (2016). ....	44



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Principais componentes harmônicas da maré. Fonte: Autora (2016).....	16
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$g$  – Aceleração da gravidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$h$  - Profundidade local (m)

M2 – Componente de maré principal lunar semi-diurna (m)

P – Coeficiente de significância

R – Correlação de Pearson

RMSE – Erro quadrático médio (m)

T – Período (h)

U - Componente da velocidade das correntes no sentido Norte – Sul ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

V - Componente da velocidade das correntes no sentido Leste – Oeste ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$x$  - Componente perpendicular ao norte geográfico (m)

$y$  - Componente paralela ao norte geográfico (m)

$\eta$  – Variação do nível médio do mar (m)

$\rho$  – Densidade da água do mar ( $1.025 \text{ kg m}^{-3}$ )

$\rho_a$  – Densidade do ar ( $1,25 \text{ kg m}^{-3}$ )

$\Phi$  – Fase (radianos)

$\omega$  – Frequência angular (radianos por segundo)

$a$  – Amplitude (m)

$t$  – Tempo

$\tau$  - Tensão de cisalhamento ( $\text{N m}^{-2}$ )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
3.1 MARÉ ASTRONÔMICA.....	14
3.2 CORRENTES DE MARÉ .....	15
3.3 ANÁLISE HARMÔNICA.....	16
3.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL NA OCEANOGRAFIA .....	18
3.5 ESTUDOS ANTERIORES.....	19
<b>4 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>21</b>
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	24
<b>5.1.1 Geometria e batimetria da região de estudo.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.2 Maré.....</b>	<b>25</b>
5.2 MODELO NUMÉRICO - REGIONAL OCEAN MODELING SYSTEM (ROMS) ...	25
5.3 GRADE COMPUTACIONAL E BATIMÉTRICA .....	26
5.4 CONFIGURAÇÕES DO MODELO .....	28
5.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO .....	29
<b>5.5.1 Condições de Contorno de Fundo.....</b>	<b>29</b>
<b>5.5.2 Condições de Contorno Laterais.....</b>	<b>30</b>
5.6 ANÁLISE DAS CONSTITUINTES DE MARÉ .....	30
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
6.1 VALIDAÇÃO DO MODELO .....	32
6.2 COMPONENTES DE MARÉ .....	34
<b>6.2.1 Componente semi-diurna principal lunar M2.....</b>	<b>34</b>
<b>6.2.2 Componente semi-diurna principal solar S2 .....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.3 Componente diurna principal lunar O1 .....</b>	<b>36</b>
<b>6.2.4 Componente diurna solar-lunar K1 .....</b>	<b>36</b>
6.3 CORRENTES DE MARÉ E NÍVEL DA ÁGUA .....	37
<b>6.3.1 Simulação cenário 1 .....</b>	<b>38</b>
<b>6.3.2 Simulação cenário 2 .....</b>	<b>41</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A intensa urbanização costeira, principalmente em regiões próximas a estuários e baías, ocasionam atividades que ocorrem de forma acentuada, tais como, o desenvolvimento de indústrias, o tráfego marítimo, a maricultura e explorações turísticas. O avanço dessas atividades faz com que aconteça um processo de degradação na Zona Costeira Brasileira.

Nos últimos anos, o estado de Santa Catarina tem sido objeto das mais diversas formas de atividades antrópicas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), o estado possui aproximadamente 7 milhões de habitantes e uma densidade demográfica de 65,27 hab./km<sup>2</sup>. O litoral catarinense possui uma extensão perto de 561 km, onde vem sendo realizados diversos estudos ambientais para minimizar os impactos causados pela ocupação antrópica.

A Baía de Florianópolis é um corpo de água entre a Ilha de Santa Catarina e o continente, localiza-se em suas margens a cidade de Florianópolis, capital de Santa Catarina, com uma população de 421.240 pessoas (IBGE, 2016). Inserida numa zona caracterizada por diversas feições morfológicas, moldadas continuamente pela atuação conjunta de múltiplos fatores (correntes, ondas, ventos, entre outros), relacionados com variações do nível do mar e variações climáticas (ALVES JR., 2011). É um ambiente semiaberto com características estuarinas, onde as principais forças que geram a circulação hidrodinâmica são atribuídas à co-oscilação da maré na Baía e à transferência de momentum promovida pelos ventos. A região é subdividida em dois corpos d'água semiconfinados, conhecidos com Baía Norte e Baía Sul (CZIZEWESKI, 2016; PRUDÊNCIO 2003; MELO *et al.* 1997).

A Baía de Florianópolis vem sendo objeto de estudos, que tentam contribuir para o entendimento dos processos costeiros presentes na região, e que são responsáveis pelas modificações verificadas no meio ambiente. Os estudos já realizados por (ALVES JR. 2011; PRUDÊNCIO 2003; MELO *et al.*, 1997), identificam uma forte influência hidrodinâmica nos processos costeiros vigentes, apontando, assim, para a necessidade do conhecimento da circulação hidrodinâmica da área, bem como das forças hidrodinâmicas.

Entre os sistemas hídricos mais relevantes do litoral catarinense encontram-se as Baías Norte e Sul, entretanto a quantidade de estudos e informações disponíveis para que se possa ter conhecimento das características e variabilidades espaços-temporais da circulação ainda é insuficiente na região, devido aos altos custos envolvidos nas pesquisas oceanográficas.

Neste contexto, a aplicação de modelos que consigam descrever de forma satisfatória a hidrodinâmica em regiões costeiras possui grande importância na definição de estratégias de gerenciamento de corpos d'água costeiros (VIÉGAS, 2006). Estes modelos são ferramentas

integradoras, sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica dos complexos processos que ocorrem nestes ambientes (ROSMAN, 2001).

Este trabalho teve por objetivo estudar a hidrodinâmica da Baía de Florianópolis considerando como única forçante o efeito da maré astronômica através do modelo numérico *Regional Ocean Modeling System* (ROMS).

Destaca-se que, existem poucas publicações sobre o tema nessa região e ainda há muito a ser feito para a compreensão dos mecanismos de circulação, sendo assim, o estudo visa contribuir no incremento de informações para um gerenciamento costeiro e ambiental adequado, fornecendo a estrutura básica que possibilita a tomada de decisão das partes competentes para a manutenção da qualidade ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo é caracterizar a variabilidade espacial e temporal da circulação induzida pela maré astronômica nas Baías Norte e Sul de Florianópolis, através do modelo *Regional Ocean Modeling System* (ROMS).

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a circulação induzida pela constituinte harmônico M2 na Baía de Florianópolis;
- Analisar as possíveis deformações e mudança de fase da onda de maré em corpos semifechados, como as Baías.
- Analisar a importância da batimetria para a propagação da onda de maré dentro das baías.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 MARÉ ASTRONÔMICA

O conceito de maré é dado pela oscilação vertical da superfície do mar ou outra grande massa de água sobre a Terra, causada primariamente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e, em menor extensão, do Sol sobre os diversos pontos da Terra (DHN, 2002).

As forças geradoras de maré variam inversamente com o cubo da distância do objeto gerador e é proporcional ao produto das massas. Isto significa que a força geradora de maré do Sol é reduzida em comparação com a força geradora de maré da Lua. Deste modo, a força de atração gravitacional exercida pela Lua é a força dominante que afeta as marés da Terra, como representado na equação 1 (NOAA, 2015).

$$FG = \frac{2 G \cdot m \cdot ml}{r^3} \Delta r \quad (1)$$

Onde:

$G$  é a constante gravitacional universal ( $6,67408 \times 10^{-11} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ );

$ml$  é a massa da Lua;

$\Delta r$  é a variação na distância entre  $m$  e  $ml$ ;

$r$  é a distância entre os  $m$  e  $ml$ .

Os movimentos relativos Sol–Terra–Lua produzem variações na força geradora de maré devido as modificações cíclicas das declinações e excentricidades das órbitas da Lua e da Terra com relação ao Sol. Estes ciclos fazem com que as marés sejam movimentos harmônicos compostos que podem, conseqüentemente, ser decompostos em vários constituintes harmônicos, em que cada componente representa uma mudança periódica ou variação nas posições relativas da Terra, Lua e Sol.

As áreas oceânicas respondem de modos diferentes às forças geradoras de maré, formando três padrões de maré. O tipo de maré predominante é a "maré semidiurna", na qual predominam as componentes M2, S2 e N2. A "maré diurna" é produzida principalmente pelas componentes M1, O1 e P1, resultando em uma preamar e uma baixamar em cada dia lunar; ela ocorre principalmente nas proximidades do Equador, entre os trópicos, mas com marcantes exceções (devido à topografia local). Na "maré mista", na parte do mês lunar em que a Lua cruza o Equador, a maré é principalmente semidiurna; e quando a declinação da

Lua é grande, as constituintes diurnas são suficientemente fortes para produzir uma preamar e uma baixamar por dia (SUMICH, 1996; THURMAN, 1994; ROSS, 1995).

Dessa forma, o monitoramento das marés é de extrema importância para diversas atividades desenvolvidas no ambiente marinho, desde as atividades pesqueiras, recreativas, tráfego marítimo, e mesmo os projetos de engenharia das zonas costeiras, exigem profissionais para a supervisão dos níveis de maré. Na área da oceanografia o estudo da maré se faz necessário para a compreensão da circulação do oceano.

### 3.2 CORRENTES DE MARÉ

A oscilação vertical das marés próximo a costa faz com que a água movimente horizontalmente, criando correntes chamadas de correntes de maré, causada pela maré oceânica na entrada do canal. A onda que se propaga numa bacia pode ser sujeita a ressonância e a retificação.

Além de ser influenciada pela distância entre Sol e Lua, as correntes de maré são altamente influenciadas pela geometria das baías e estuários. Em regiões de águas rasas as amplitudes de maré aumentam e as correntes se tornam mais intensas, tendo um papel importante na circulação local (NOAA, 2016).

As correntes de maré de superfície podem ser classificadas como rotatórias ou retilíneas. Em alto mar, onde a direção do fluxo não é restringida por barreiras, a corrente de maré é rotatória. Quando rotatória, a velocidade geralmente varia ao longo do ciclo das marés, passando por dois máximos em direções opostas, e dois mínimos. Em rios e estuários, onde a direção do fluxo é parcialmente restrita, normalmente são encontradas as correntes de maré retilíneas, que flui alternadamente em direções opostas com um período curto ou de pouca a nenhuma corrente, em cada inversão da maré (NIMA, 2016).

Em correntes de maré rotatórias são formadas as elipses de maré, que representam a trajetória percorridas por uma partícula de água do mar. Cada componente de maré específica irá formar a sua elipse (MESQUITA, 1997).

Segundo Cizeweski (2016) a variação da intensidade das correntes em regiões costeiras pode ser controlada por outros dois processos: a mudança do fluxo em canais e a geração de fluxos residuais devido à periodicidade das marés. O fluxo da corrente será um balanço entre o gradiente de pressão gerado dentro do canal e o arrasto de fundo oposto ao fluxo.



### 3.3 ANÁLISE HARMÔNICA

As componentes de maré são estudadas na Teoria Dinâmica das Marés, que trata da resposta hidrodinâmica do oceano real às forças geradoras de maré, considerando os limites dos oceanos, a progressão das ondas de maré e a força de Coriolis.

Visto que, as componentes de maré são provenientes da decomposição dos movimentos harmônicos de maré, em que cada uma representa a mudança periódica ou variação nas posições relativas da Terra, Lua e Sol, é possível caracterizá-las a partir de técnicas de análise harmônica.

Dessa forma, a variação na elevação do nível do mar causada pela maré astronômica pode ser determinada pela somatória dos harmônicos principais de maré, conforme equação 2.

$$\eta(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos(\omega_k t - \Phi_k) \quad (2)$$

Onde:

$\eta(t)$  é a variação do nível do mar em função do tempo;

$t$  é o tempo em minutos;

$A_k$  é a amplitude em metros;

$\omega_k$  é a frequência angular em radianos por segundo;

$\Phi_k$  é a fase em radianos;

$k$  é o número de constituintes.

As componentes de maré mais importantes para a região costeira com sua descrição e período são listadas na

Tabela 1, onde também estão relacionados o período e a fase obtidos a partir do modelo TPXO 7.2 para o ponto de latitude -27,5968 e longitude -48,5655, localizado no centro das Baías de Florianópolis.

Tabela 1 - Principais componentes harmônicas da maré. Fonte: Autora (2016).

COMPONENTES DE MARÉ				
Símbolo	Descrição	Período (horas)	Amplitude (m) (-27.5968; -48.5655)	Fase (graus)
<i>Marés Semidiurnas</i>				
M2	Principal lunar	12,42	19,40	152,61

S2	Principal solar	12,00	13,38	155,59
N2	Elíptica lunar	12,66	3,61	229,65
K2	Solar-lunar	11,97	4,02	148,59
<i>Marés Diurnas</i>				
K1	Solar-lunar	23,93	6,10	179,50
O1	Principal lunar	25,82	10,60	115,33
P1	Principal solar	24,07	1,86	169,04
Q1	Elíptica lunar	26,87	2,83	89,88
<i>Marés de períodos longos</i>				
MF	Lunar quinzenal	13,66 dias	0,44	343,40
MM	Lunar mensal	27,55 dias	0,24	344,63
<i>Marés de águas rasas</i>				
M4	Principal lunar de águas rasas	6,21	2,49	209,27
MS4	Quarti-diurna de águas rasas	6,10	1,32	313,90
MN4	Quarti-diurna de águas rasas	6,00	0,93	192,93

Através da análise harmônica também são realizadas as previsões de maré. Para isso, um registro do local é analisado para componentes de determinadas frequências, usando a análise de *Fourier*.

Desta forma, são determinadas uma amplitude  $H_j$  e uma fase  $G_j$  para cada constituinte,  $H$  e  $G$  são chamadas constantes harmônicas de uma constituinte naquele local e são características de uma posição no mar. Então, a elevação  $\eta(t)$  naquele ponto do oceano pode ser prevista para um instante de tempo  $t$  qualquer usando a equação 3.

$$\eta(t) = \sum_j f_j H_j \cos(\sigma_j t + \beta_j - G_j) \quad (3)$$

Onde:

$\sigma_j$  são as velocidades angulares das constituintes de maré;

$f_j$  e  $\beta_j$  são características de cada constituinte, funções do tempo  $t$ ;

$H_j$  e  $G_j$  são as constantes harmônicas de cada constituinte, no local das medições.

Dessa forma, a Teoria do Equilíbrio fornece os valores de  $\sigma_j$ ,  $f_j$  e  $\beta_j$ ; e a análise harmônica da maré de um local, baseada na análise de *Fourier* de um registro, informa como a geometria dos continentes, a topografia do fundo dos oceanos, a progressão das ondas de maré, a força de Coriolis e os modos naturais de oscilação modificam a maré de equilíbrio naquele local, dando os valores de  $H_j$  e  $G_j$ , a Figura 1 representa uma previsão de maré obtida

para um ponto localizado na região central das Baías de Florianópolis pelo modelo TPXO 7.2 para o mês de julho de 2016.

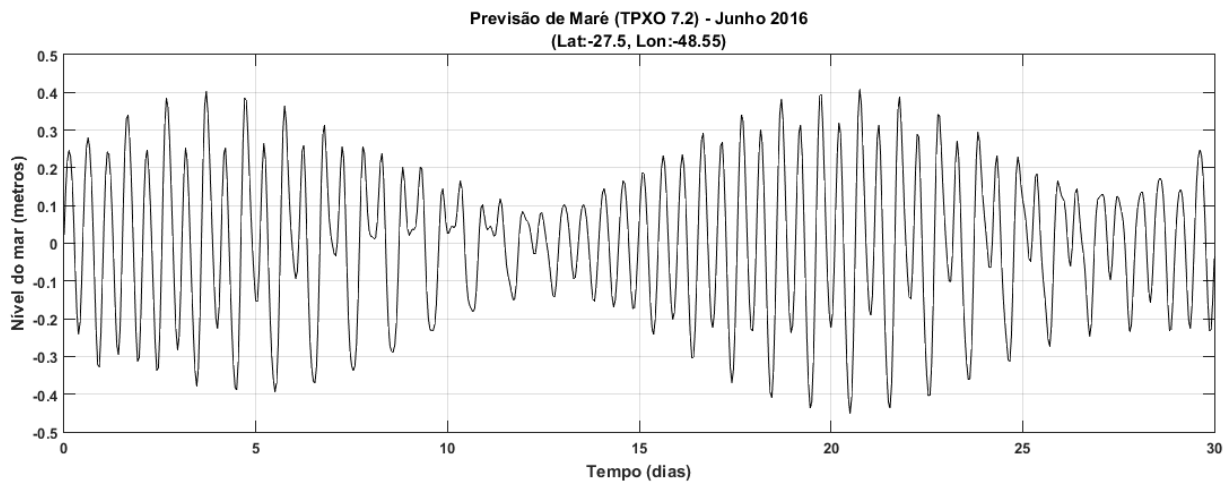


Figura 1 - Maré astronômica prevista pelo modelo TPXO 7.2 para o mês de julho de 2016 no ponto de latitude -27.5968 e longitude -48.5655. Fonte: Autora (2016).

Harari (2007) destaca que a determinação das forças e acelerações na Teoria Dinâmica das Marés, considerando a Terra real (com continentes e topografia do fundo dos oceanos) e demais efeitos desconsiderados pela Teoria do Equilíbrio, é muito difícil, devido à extrema complexidade do sistema de equações e de suas condições de contorno. Assim, a análise harmônica da maré estuda o fenômeno evitando a formulação matemática das causas e se ocupando do efeito. Nesta análise, o procedimento é de modo que a análise de *Fourier* dos registros de altura de maré nos pontos do oceano determina como cada componente de maré é afetada, na amplitude e fase, pelos efeitos não considerados na Teoria do Equilíbrio.

### 3.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL NA OCEANOGRAFIA

A alta complexidade dos ambientes marinhos, em especial lagos, estuários e zona costeira adjacente a bacias hidrográficas, justifica a necessidade e alta implementação de modelos para estudos e gestão dessas regiões. Rosman (2000) afirma que modelos são ferramentas integradoras, sem as quais dificilmente se consegue uma visão dinâmica de processos nestes complexos sistemas ambientais.

Os modelos numéricos são traduções dos modelos matemáticos adaptados para diferentes métodos de cálculo, por exemplo, diferenças finitas, volumes finitos e elementos finitos, além de modelos estocásticos. Porém, como equações matemáticas (geralmente na forma de equações diferenciais parciais - EDPs) raramente possuem solução analítica, para os

casos de nosso interesse, a solução das equações se faz através de técnicas numéricas (SILVA, 2010).

Os modelos numéricos hidrodinâmicos são baseados nas Leis da Conservação da Mecânica, pelos princípios de Conservação de Massa (equação da continuidade), sal e calor além da Conservação de *Momentum* (2ª Lei do movimento de Newton), também conhecidas como equações de *Navier-Stokes*, possibilitando a reprodução e a previsão da circulação oceânica e distribuição de propriedades físico-químicas. Esses modelos podem ser unidimensionais (1D), bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D) (HARARI, 2015).

Atualmente, o alto custo de campanhas oceanográficas faz com que seja quase impossível a gestão ambiental de bacias hidrográficas e de corpos de água naturais além do desenvolvimento costeiro e oceânico sem a implementação de modelos.

### 3.5 ESTUDOS ANTERIORES

A Baía de Florianópolis ao longo dos anos tem sido objeto de diversos estudos, principalmente devido a sua importância econômica para a região, que se tornou um grande local para a maricultura para uma crescente comunidade produtores de ostras e mexilhões (MELO *et al.*, 1997).

A empresa Hidrologia S.A. foi a pioneira, no ano de 1971, a realizar um estudo básico do comportamento hidrodinâmico das Baías de Florianópolis, onde foram medidos dados de salinidade, temperatura, intensidade e direção das correntes em regime de maré média, sizígia e quadratura (HIDROLOGIA, 1971).

Em 1972, a empresa Planidro juntamente com o Departamento Nacional de Obras e Saneamento desenvolveram um estudo teórico da circulação da Baía, a partir de análises qualitativas, métodos analíticos com condições simplificadoras dos processos físicos. No qual utilizaram os dados oceanográficos medidos pela Hidrologia S.A. para a avaliação dos resultados, as análises mostraram concordância qualitativa entre os valores medidos e calculados.

Salles (1990), realizou outro estudo caracterizando a hidrodinâmica da região, através de relações geométricas e expressões analíticas, sob um enfoque de hidráulica de canais. Inquirindo o regime das marés com dados medidos pela Hidrologia S.A., em 1971, e empregando linhas de fluxo e equipotenciais para definir as secções de descargas instantâneas e estimar o sentido longitudinal das correntes.

No ano de 2002, o Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) da UFSC, realizou uma série de campanhas de medições de dados maregráficos, totalizando aproximadamente 8

meses de registros ininterruptos na Enseada de Brito (Baía Sul), também foram realizadas medições de nível na Ponta do Papagaio (Baía Sul) e Praia de Jurerê (Baía Norte). Tais dados foram utilizados no estudo de Prudêncio (2003), que implementou o modelo numérico *Princeton Ocean Model* (POM), no modo bidimensional, para a Baía de Florianópolis.

Para estudar as marés e correntes na Baía de Florianópolis, Mario *et al.* (2006), utilizou os dados do correntógrafo acústico e dois sensores de pressão instalados pelo LaHiMar na região da Baía. O trabalho apresentou dados preliminares, procedentes de uma campanha investigativa, em que os resultados mostram que no estreitamento que liga a Baía Sul a Baía Norte, a direção das correntes está relacionada com as variações de maré.

Czizewesky (2016), analisou a circulação hidrodinâmica nos arredores da Ilha de Santa Catarina, incluindo suas baías norte e sul, utilizando o modelo DELFT3D com simulações sob as forçantes de maré e ventos. Na análise espacial das constituintes de maré, a M2 foi a que apresentou as maiores amplitudes. As elipses de corrente de maré revelaram os maiores velocidades nas entradas da Baías e na área do Estreito onde foram observadas elipses com rotações no sentido horário e anti-horário. Os resultados da Baía Sul apresentou padrões de escoamentos similares, para norte sob ação do vento sul e em direção ao sul sob ação do vento nordeste. A Baía Norte apresentou escoamento laminar sob vento sul e a formação de vértices de recirculação sob vento nordeste.

#### 4 ÁREA DE ESTUDO

O município de Florianópolis está situado no litoral central catarinense, abrigando quatro bacias hidrográficas independentes que fluem em direção ao oceano, Tijucas, Cubatão, Biguaçu e Madre (SEAP/PR, 2008).

Segundo Bonetti *et al.* (1998) essa região apresenta várias reentrâncias com estuários, lagoas, enseadas e baías. Do ponto de vista geomorfológico, tal diversidade paisagística ocorre devido à presença de planícies arenosas, decorrentes das oscilações do nível do mar durante o Quaternário, e à adjacência das encostas orientais da Serra do Mar.

A Figura 2 mostra a configuração da área de estudo, onde está concentrada a Baía de Florianópolis, constituída pelas Baías Norte e Sul, entre a costa continental de Florianópolis e a Ilha de Santa Catarina. Segundo Prudêncio (2003), a Baía possui uma extensão de 430 km<sup>2</sup> e quase 50 km de comprimento.

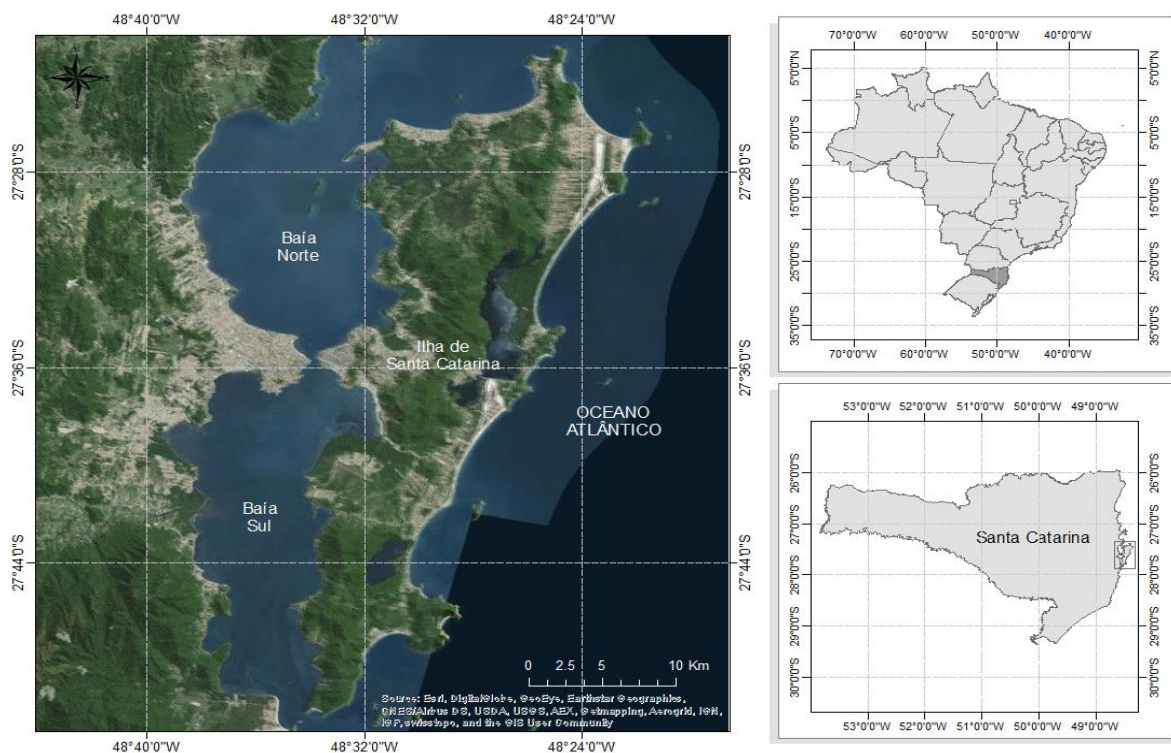


Figura 2 - Localização da região de estudo. Fonte: Autora (2016).

A Baía de Florianópolis é um sistema relativamente raso, apresenta uma forma peculiar com duas bacias separadas, interligadas por uma passagem estreita, de aproximadamente 500m de largura, onde se localizam as pontes Hercílio Luz, Colombo Sales e Pedro Ivo. Cada uma dessas bacias tem a sua própria abertura para o oceano. A parte sul da Baía tem a batimetria bastante variada, com valores de profundidade entre 3,1m à 9,5m (SILVA, 2002) e está ligada ao oceano através de uma entrada muito estreita. A parte norte da

Baía, por outro lado, é essencialmente plana e larga, com valores de profundidade raramente ultrapassando os 5m, e apresenta uma grande abertura para o oceano (MELO *et al.*, 1997).

Segundo Silva (2002), as máximas profundidades foram encontradas próximo ao estrangulamento da Ilha de Santa Catarina com o continente, onde a profundidade fica em torno dos 10m. O estreitamento acentuado no canal de comunicação com a Baía Sul provoca maiores velocidades de corrente, aumentando bruscamente a profundidade no centro deste, com declividades elevadas em seus bordos (MELO *et al.*, 1997).

O regime de marés na Baía de Florianópolis é caracterizado por amplitudes inferiores a 2m (micromarés), do tipo semidiurno misto, predominantemente (TRUCCOLO & SCHETTINI, 1999; TESSLER & GOYA, 2005). As marés são originadas por fenômenos astronômicos e meteorológicos, que são responsáveis respectivamente pela existência das correntes de maré e deriva.

Para entender a circulação da área de estudo, Martins *et al.* (1997), desenvolveu um modelo numérico, que indicou a presença de uma onda estacionária relacionada a penetração da maré astronômica pelas extremidades da Baía Sul e da Baía Norte, com anti-nó situado na porção central da Baía Sul.

Melo *et al.* (1997), através de um modelo numérico considerando a maré, afirma que a Baía de Florianópolis apresenta um fluxo muito assimétrico de maré, onde as correntes na Baía Sul diferem bastante da Baía Norte. As correntes de maré enchente avançam sobre a Baía Norte passado o estrangulamento da Ilha com o continente. Na Baía Sul, o padrão de correntes é mais fraco em torno da parte central, próximo a desembocadura do Rio Cubatão, e mais forte em ambas as extremidades, com o fluxo sendo direcionado para o interior em ambos os lados. O procedimento inverso, isto é, maré vazante, a situação inverte e ocorre a saída da água das Baías.

De acordo com Alves Jr. (2011) as correntes conduzidas pelo vento não são tão regulares como as correntes alternadas pela maré, mas seus efeitos são cumulativos na direção do vento predominante.

A região de estudo apresenta características climáticas controladas pela atuação das massas Polar marítima e Tropical marítima do Atlântico, de clima subtropical úmido. Segundo Nimer (1989) está inserida na região de clima temperado, com temperatura média oscilando entre 15 e 18 °C no inverno e entre 24 e 26°C no verão. A temperatura média anual é de 20 °C.

Truccolo (2011) diz que o regime de ventos na área de estudo é influenciado por processos atmosféricos de escalas temporais e espaciais diferentes, com predominância dos

ventos de quadrante N-NE durante todo o ano, entretanto durante o inverno e primavera aumenta a importância dos ventos provenientes do quadrante S-SE.



## 5 METODOLOGIA

Numerosos modelos hidrodinâmicos bidimensionais e tridimensionais foram criados e estão capacitados para aplicação de estudos hidrodinâmicos (WEISBERG & ZHENG, 2007). Entre os modelos atualmente usados para o estudo da circulação hidrodinâmica induzida pela maré estão: o *Princeton Ocean Model* (POM); *Coastal Ocean Model* (ECOM-si); o *Modelling Water Resources* (MOHID) e o *Regional Ocean Model System* (ROMS) (ZHANG & BAPTISTA, 2008).

Para realizar os objetivos propostos neste trabalho utiliza-se o *Regional Ocean Modelling System* (ROMS), a aplicação do ROMS para estudos hidrodinâmicos forçados pela maré é amplamente difundida (MACCREADY *et al.*, 2009; ROBERTSON 2006; WANG *et al.*, 2006; THE COASTAL CENTER OF THE UCLA, 2003), sendo o presente estudo o pioneiro na aplicação deste modelo na área de estudo.

### 5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

#### 5.1.1 Geometria e batimetria da região de estudo

A geometria da região de estudo foi obtida através do *software Delft Dashboard*, utilizando a linha de costa do *World Vector Shoreline* (WVS), um arquivo de dados digital contendo as linhas de costa com a mais alta resolução de demarcação costeira disponível globalmente, criado pela *US Defense Mapping Agency* (DMA).

A batimetria adotada na pesquisa foi interpolada a partir de duas fontes distintas de dados. O primeiro conjunto de dados foi cedido pelo Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e corresponde a batimetria das Baías Norte e Sul. O outro conjunto de dados batimétricos foi obtido através do *Marine Geoscience Data System* (MGDS), que disponibiliza uma compilação contínua e atualizada de batimetria e dados de elevações provenientes do modelo *Global Multi-Resolution Topography* (GMRT), que fornece a profundidade a partir da combinação de dados gerados por navios com dados gravimétricos de sensores orbitais.

Os dados utilizados para compor a batimetria do modelo foram nivelados no plano de referência determinado no nível médio da maré, com profundidade expressa em metros, de forma que a batimetria negativa encontra-se abaixo do plano de referência.

### 5.1.2 Maré

As constituintes de maré utilizadas na modelagem foram obtidas a partir do modelo global de marés oceânicas *TPXO*, que apresenta uma interface gráfica para o *software Matlab* chamada *Tidal Driver Model* (TDM).

As marés são fornecidas por amplitudes da elevação da superfície do mar  $a_k$  e fases  $\Phi_k$  de oito harmônicos primários (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), dois de períodos longos (Mf, Mm) e três componentes não-lineares (M4, MS4, MN4) (EGBERT; EROFEEVA, 2002).

A extração dos constituintes harmônicas de maré foi realizada utilizando rotinas de *Matlab* disponíveis no site do ROMS, sendo requisitados os *toolbox T\_Tide* e TMD. Estes dados foram inseridos ao arquivo de forçantes, para o modelo ROMS via ferramenta *ROMSTOOLS*, uma coleção de conjuntos de dados globais e uma série de programas *Matlab* reunidos em uma - *toolbox* integrada.

## 5.2 MODELO NUMÉRICO - REGIONAL OCEAN MODELING SYSTEM (ROMS)

O *Regional Ocean Modeling System* - ROMS é um modelo oceânico de superfície livre, coordenadas seguidoras de terreno e equações primitivas (HAIDVOGEL *et al.*, 2008). Os algoritmos não lineares que formam seu núcleo computacional são descritos em detalhes em Shchepetkin (2003) e McWilliams (2005).

O ROMS inclui algoritmos físicos e numéricos precisos e eficientes e diversos modelos acoplados para processos biogeoquímicos, bio-ópticos, transporte de sedimentos e também inclui diversos regimes de mistura vertical (WARNER *et al.*, 2005), níveis múltiplos de aninhamento e grades compostas.

Para economia computacional, as equações primitivas hidrostáticas para momentum são resolvidas usando um passo de tempo dividido, que requer tratamento e acoplamento especial entre os modos barotrópico (rápido) e baroclínico (lento) (HAIDVOGEL *et al.*, 2000). Um número finito de passos de tempo barotrópicos, dentro de cada passo de tempo baroclínico, é realizado para desenvolver as equações de *momentum* integradas verticalmente.

O ROMS pertence a uma classe de modelos numéricos que usam um sistema de coordenadas curvilíneas ortogonais e uma grade estruturada do tipo C de *Arakawa* na horizontal, e usa na vertical um sistema de coordenada do tipo *terrain - following* ou seguidor de terreno estendida, que permite uma resolução variável (WARNER *et al.*, 2005). Contornos de costa também podem ser especificados como uma grade discretizada finitamente pela máscara terra/mar.

As condições de contorno para o ROMS são apropriadas para topografia e linha de costa irregular, para a superfície livre do mar e contornos oceânicos abertos. Abrange forçantes como o estresse do vento, fluxos de calor, aporte fluvial entre outras.

O modelo apresenta várias parametrizações de escala de subgrade, de forma que a mistura horizontal turbulenta de momento pode ser ao longo de níveis verticais, superfícies geopotenciais, ou superfícies isopicnais. Já a parametrização da mistura turbulenta vertical pode ocorrer por esquemas de fechamento locais ou não-locais (HAIDVOGEL *et al.*, 2000).

Os esquemas de fechamento locais são baseados nas equações de energia cinética turbulenta de nível 2.5 de Mellor & Yamada (1982), e a parametrização de Escala de Comprimento Genérica (*Generic Length Scale – GLS*) (UMLAUF & BURCHARD, 2003). O esquema de fechamento não-local é baseado na formulação de camada limite perfil – K de Large *et al.* (1994). O método GLS é um modelo de 2 equações, uma para o transporte da energia cinética turbulenta e a segunda para o transporte do parâmetro relacionada a escala de comprimento.

O ROMS possui um código altamente moderno e modular escrito em F90 e 95. Utiliza pré-processamento C para ativar as diversas opções físicas e numéricas. Muitos padrões de códigos têm sido estabelecidos para facilitar a leitura, manutenção e portabilidade do modelo.

O conjunto de equações governantes do ROMS é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de *Boussinesq*, plano  $\beta$  e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com valores positivos de x, no sentido leste, e de y, no sentido norte, e realizando a transformação para coordenada sigma, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo ROMS (PROOCEANO, 2013).

O modelo é utilizado amplamente pela comunidade científica em diversas áreas do conhecimento destacando os trabalhos de Haidvogel *et al.* (2000), Marchesiello *et al.* (2003) e Peliz *et al.* (2003).

### 5.3 GRADE COMPUTACIONAL E BATIMÉTRICA

O padrão de discretização horizontal das equações que regem o ROMS são ajustadas ao contorno utilizando uma grade de coordenadas curvilíneas ortogonais. Para tanto, o modelo transforma o sistema de coordenadas da grade em uma grade com termos métricos.

As variáveis de estado (u, v, w - velocidades da corrente nas direções x, y e z -,  $\rho$  - densidade - e  $\eta$  - elevação do nível do mar) do modelo são escalonados padrão chamada C de Arakawa, representado na Figura 3, onde os pontos de variação do nível do mar estão definidos

no centro das células da grade, enquanto as componentes da velocidade são perpendiculares às faces da célula da grade.

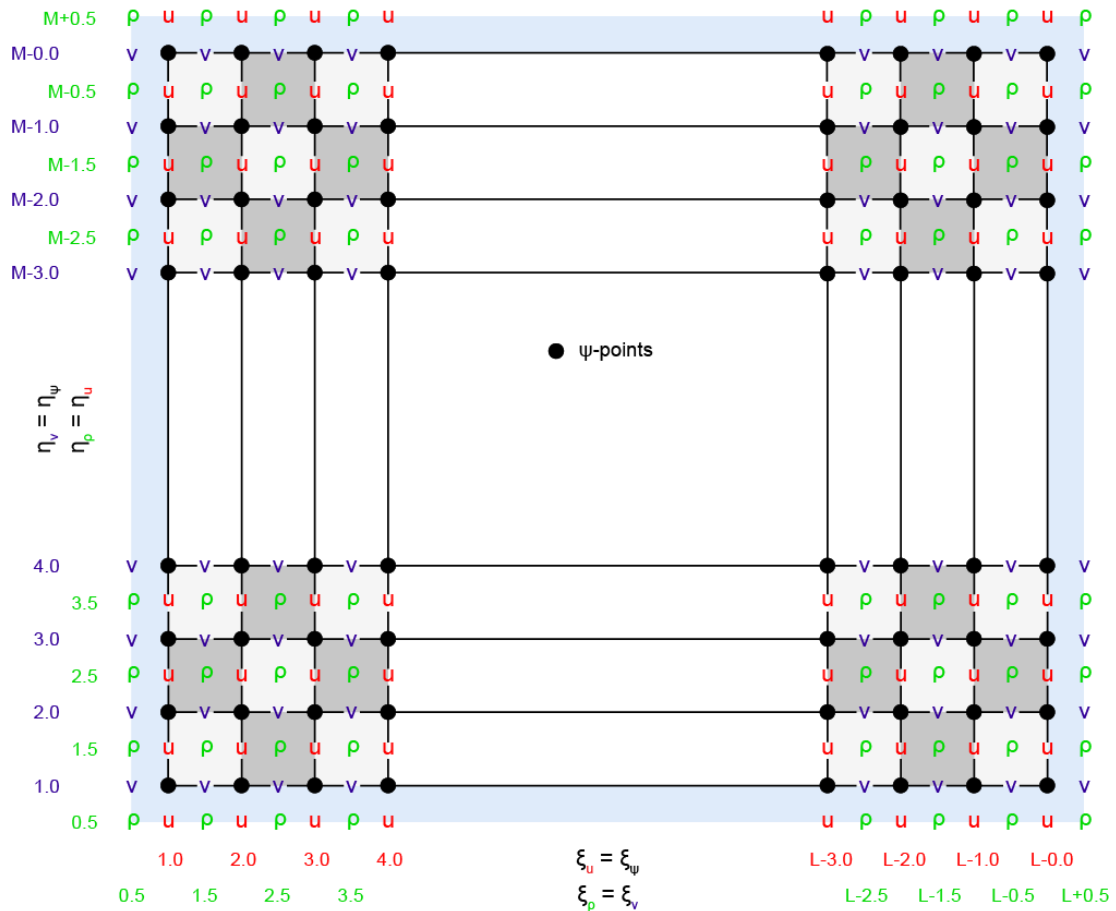


Figura 3 - Discretização horizontal - Escalonamento da grade horizontal. Fonte: Ocean Modeling Group (2016).

Esse padrão apresenta vantagens na modelagem como a facilidade de aplicar condições de contorno, o uso de poucas variáveis discretas comparadas com outros tipos de grades e evita oscilações espaciais no nível do mar

A grade batimétrica, representada na Figura 4, foi gerada no *software Delft Dashboard* e apresenta 302x602 pontos em uma resolução espacial ( $\Delta x = \Delta y$ ) de aproximadamente 250 metros. Primeiramente, a linha de costa da área de interesse foi selecionada e também definiu-se a resolução da malha. Assim, a grade foi importada para o módulo RGFGRID-DELFT3D, e sua edição ocorreu a partir da linha de costa do *Word Vector Shoreline (WVS)*. Posteriormente, a grade foi importada para o módulo *QUICKIN-DELFT3D* onde realizou-se a interpolação da grade batimétrica com os pontos da malha.

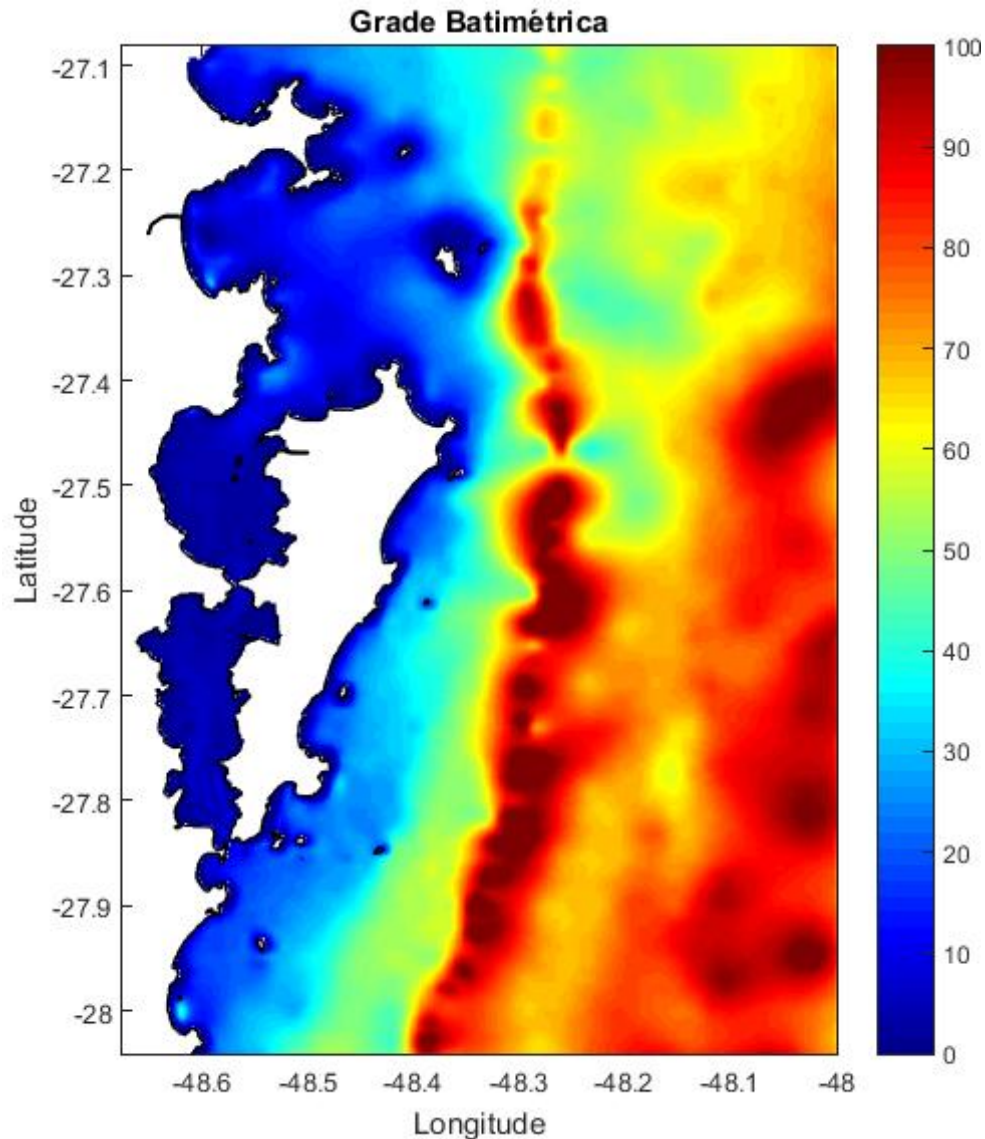


Figura 4 - Grade batimétrica regional, a escala batimétrica esta em metros. Fonte: Autora (2016).

#### 5.4 CONFIGURAÇÕES DO MODELO

O modelo foi configurado para simular 120 dias a partir das 00:00 horas do dia 01 de setembro de 2013, que equivale ao dia de simulação zero no modelo. Somente os dados dos últimos 60 dias simulados foram utilizados, sendo assim os resultados analisados tiveram início no dia 31 de outubro de 2013 e às 00:10 horas e fim no dia 30 de dezembro de 2013 às 00:00 horas. As saídas do ROMS foram armazenadas a cada dez minutos.

Obedecendo a Condição de *Courant-Friedrichs-Lewy*, a qual relaciona o intervalo de discretização no tempo em relação ao intervalo de discretização no espaço, determinou-se um passo de tempo barotrópico de cinco segundos.

Salienta-se que a temperatura e a salinidade foram mantidas constantes (fixas) no tempo e no espaço, e os valores utilizados, assim como para as outras opções físicas e

numéricas, foram *default*, propostas pelo ROMS. O modelo foi implantado no modo bidimensional, em um cenário idealizado tendo como única forçante a maré astronômica aplicada em seus contornos, e foi rodado paralelizado em modo *OpenMP*.

## 5.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO

As condições de contorno em modelos de regiões costeiras dependem dos processos e da região a ser modelada, o critério adotado neste estudo para seleção dessas condições foi o da estabilidade computacional, fazendo com que o modelo atingisse um nível energético estável, conservando a massa total do sistema ao longo das simulações, e a qualidade dos resultados.

Para a região de estudos, foram considerados 3 contornos laterais abertos e um fechado. Dos contornos abertos considerou-se um contorno afastado, em área oceânica, paralelo a direção média da costa, e outros dois transversais a esse plano, que se estendem desde a linha de costa até os limites do domínio oceânico.

### 5.5.1 Condições de Contorno de Fundo

A Condição de Contorno de Fundo foi realizada com a batimetria descrita no item 5.1.1 deste trabalho, a partir dela foi calculado o atrito no fluxo gerado por sua interação com a camada limite de fundo, inserido nas equações do movimento e utilizado como condição de contorno.

Neste estudo, foi implementando cálculos de atrito de fundo quadrático. O método de arrasto simples quadrático é dependente da velocidade no fundo e dos coeficientes  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$  com valores de  $3 \times 10^{-4}$  m/s e  $3 \times 10^{-3}$  (adimensional), respectivamente.

$$\tau_{bx} = (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})u \quad (4)$$

$$\tau_{by} = (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})v \quad (5)$$

Onde:

$\tau_{bx}$  - tensão de cisalhamento com o fundo no sentido zonal;

$\tau_{by}$  - tensão de cisalhamento com o fundo no sentido meridional;

$u$  - componente zonal da velocidade;

- $v$  - componente meridional da velocidade;
- $\gamma_1$  - coeficiente de arrasto linear;
- $\gamma_2$  - coeficiente de arrasto quadrático.

### 5.5.2 Condições de Contornos Laterais

Os objetivos das Condições de Contornos Abertos são, estabelecer as condições de entrada no domínio para forçar a solução do interior com campos externos, obtidos de observações ou de modelos de maior escala, e ao mesmo tempo, estas devem funcionar como saída, permitindo que as ondas sejam irradiadas para fora ou que as massas d'água saiam do domínio sem que haja reflexões espúrias nas fronteiras (RUFATTO, 2011).

- A condição de contorno para a superfície livre nas bordas laterais abertas do modelo foi do tipo *Chapman*, que considera a propagação de ondas de gravidade, utilizada em conjunto com informações do nível do mar obtidas a partir do modelo global de marés.
- O momento integrado na vertical recebeu a condição de contorno *Flather*, uma combinação da condição de contorno de *Sommerfeld* e condições de continuidade.
- O momento tridimensional recebeu a condição de contorno Radiação, baseada na equação de transporte nas fronteiras.
- Os traçadores temperatura e salinidade receberam a condição de contorno Gradiente, que repete o valor da penúltima célula anterior ao limite do domínio de forma a estabelecer uma condição onde o gradiente seja 0.

Nos contornos fechados laterais foi utilizada a condição de contorno *free-slip*, onde somente a componente da velocidade, perpendicular aos contornos, é zero (não há penetração no contorno fechado).

Mais informações sobre as condições de contornos utilizadas podem ser encontradas em Mori (2007).

### 5.6 ANÁLISE DAS CONSTITUINTES DE MARÉ

Os resultados do modelo foram processados no *software Matlab*, utilizando principalmente o *toolbox T\_Tide*, que inclui um grande número de constituintes harmônicos (45 astronômicos e 101 de águas rasas), desenvolvido por Pawlowicz, Beardsley & Lentz (2002).

Para a identificação das principais constituintes da maré astronômica e caracterização de suas amplitudes e fases, realizou-se a análise harmônica das séries temporais de elevação do nível do mar, além da análise das velocidades das correntes  $u$  e  $v$  para cada ponto da grade através do *T\_Tide*, dessa forma foi possível compor mapas para cada componente de maré.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 VALIDAÇÃO DO MODELO

Segundo Tobón (2002), a validação do modelo numérico é a fase de documentar a aplicabilidade e precisão dos resultados simulados em relação aos seus propósitos, e do sistema natural que o mesmo representa.

Os dados utilizados para a validação do modelo são provenientes de estudos pretéritos realizados no Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) da UFSC, foram adquiridos por duas estações maregráficas no domínio da área de estudo, localizadas na Beira Mar Norte (-27,5865, -48,5573) e Praia da Armação (-27,7494, -48,5002), com séries temporais de 312 e 767 dias respectivamente com intervalo amostral de 10 minutos.

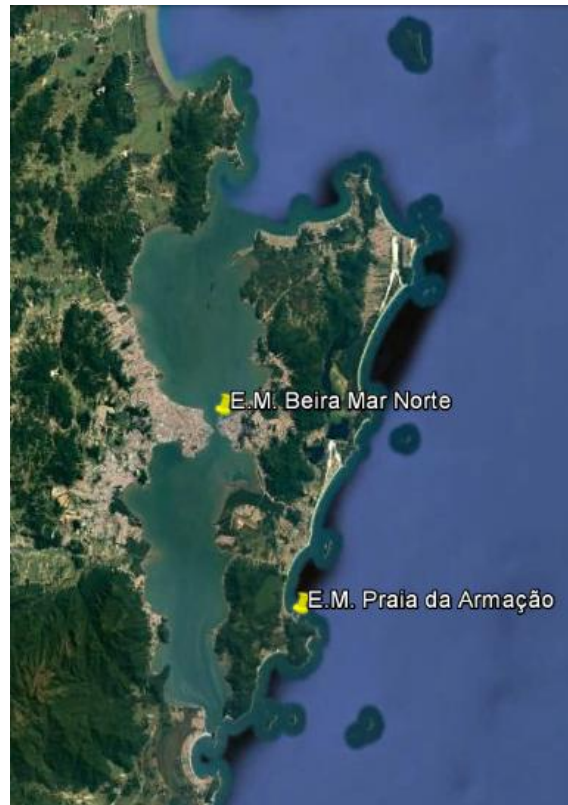


Figura 5 - Localização das estações maregráficas. Fonte: Autora (2016).

Afim de padronizar o intervalo amostral entre os dados provenientes de medição e os resultantes do modelo, os dados medidos foram interpolados, devido a descontinuidade aparente na aquisição dos mesmos na casa dos segundos.

Para analisar a eficácia do modelo foram realizados testes estatísticos básicos, calculando-se os coeficientes de correlação de Pearson (R), valor P (P) e erro quadrático médio (RMSE). Estatisticamente, quanto mais próximo de 1 for o valor de R, maior é a

associação linear entre as variáveis. P calcula a significância da correlação, quando  $P < 0,005$ , esta é considerada significativa. Já o erro quadrático médio é definido pela soma do quadrado das diferenças entre as variáveis analisadas.

As Figura 6 e Figura 7 ilustram as comparações entre os dados modelados e os dados medidos durante o período de simulação. Nota-se que as variações predominantemente semi-diurna e as variações de longo período representando os períodos sizígia - quadratura das marés.

Na Praia da Armação o coeficiente de correlação entre a maré modelada e a maré prevista foi de  $R=0,94$ ,  $P < 0,005$  e o erro quadrático médio  $RMSE=0,004$  metros.

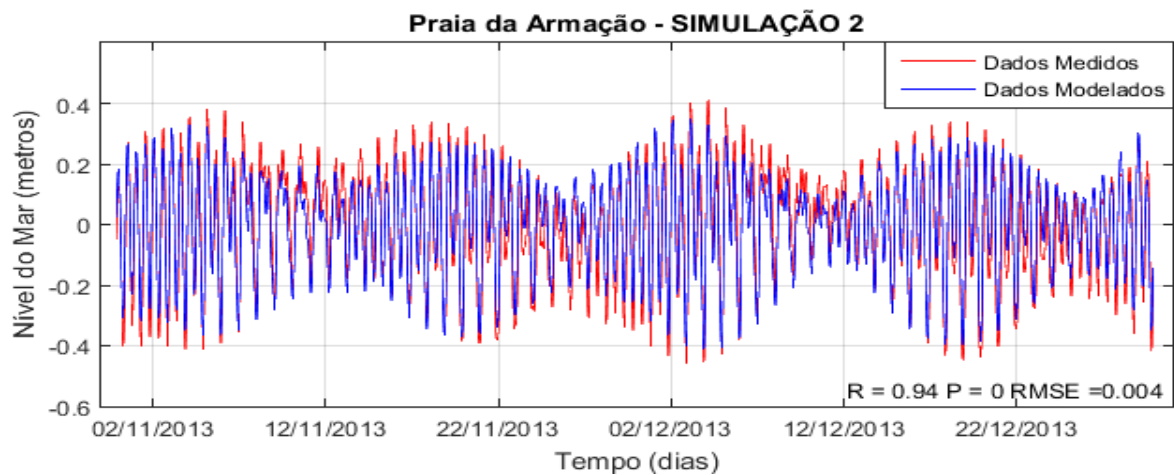


Figura 6 - Comparação entre maré modelada (azul) e maré prevista (vermelho) para um período de 30 dias na Praia da Armação – SC. Fonte: Autora (2016).

Na Beira Mar o coeficiente de correlação entre a maré modelada e a maré prevista foi de  $R = 0,95$ ,  $P < 0,005$  e o erro quadrático médio  $RMSE = 0,007$  metros.

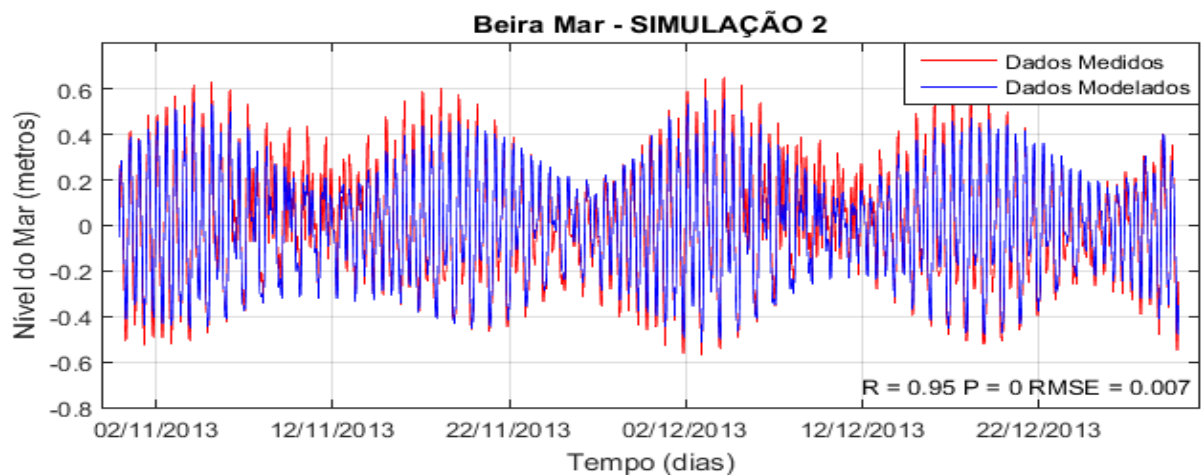


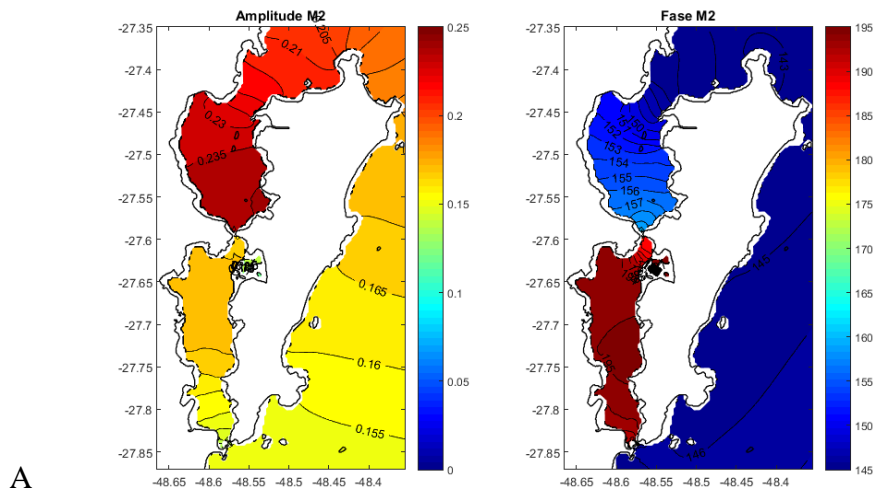
Figura 7 - Comparação entre maré modelada (azul) e maré prevista (vermelho) para um período de 30 dias na Beira Mar – SC. Fonte: Autora (2016).

Para ambas as séries as correlações foram consideradas estatisticamente significativas, o que demonstra uma performance satisfatória do modelo ROMS ao modelar dados forçados com dados de maré na região de estudo.

## 6.2 COMPONENTES DE MARÉ

Os resultados das análises harmônicas, para a simulação são mostrados em mapas cotidianos de amplitude (H), em metros, e fase em relação a Greenwich (GW), em graus. Somente as 4 principais componentes da região foram analisadas, sendo elas as componentes semi-diurnas M2 (principal lunar, T=12,42h) e S2 (principal solar, T=12h), e componentes diurnas O1 (principal lunar, T=25,82h) e K1 (solar-lunar, T=23,93h) respectivamente.

### 6.2.1 Componente semi-diurna principal lunar M2



A

**Figura 8** ilustra o mapa de amplitude e fase da constituinte de maré M2, que possui amplitudes de cerca de 21cm na região próxima à costa, da área de estudo. Ao analisar o mapa nota-se que os maiores valores estão concentrados na região norte do modelo, com variações de aproximadamente 6cm ao longo do domínio, Mesquita (1997) explica que os pequenos valores de amplitude na região sul da área de estudo estão associados a existência de um ponto anfidrômico ao sul, próximo à cidade de Rio Grande – RS.

No interior da Baía as amplitudes nas bordas sul e norte são, respectivamente, de 15cm e 23cm, aproximadamente. A região centro-sul da Baía Norte, atinge cerca de 24cm e a região centro-norte da Baía Sul, atinge cerca de 17cm, indicando uma amplificação de 8cm e 7cm, respectivamente. Entre as componentes harmônicas analisadas a M2 foi a que apresentou maiores amplitudes, sendo também a mais energética, o que também foi pontuado por Prudêncio (2009).

A M2 apresenta dois sistemas de propagação um de nordeste e um de sudoeste, os quais atingem a plataforma continental praticamente juntos (HARARI & CAMARGO, 1994), o mapa de fase, ilustra sua propagação para sudoeste.

No domínio da Baía a propagação da onda de maré ocorre através das duas entradas, e encontram-se no meio da Baía Sul (aproximadamente  $-27,7^\circ$ ), conforme Melo (1998), esse desenvolvimento resulta em uma onda estacionária com anti-nó centrado na Baía Sul. Observa-se que a defasagem de fase na região da Baía Sul e o estreitamento central em relação a sua desembocadura, são cerca de  $49^\circ$ , aproximadamente 1 hora e 36 minutos de atraso em tempo.

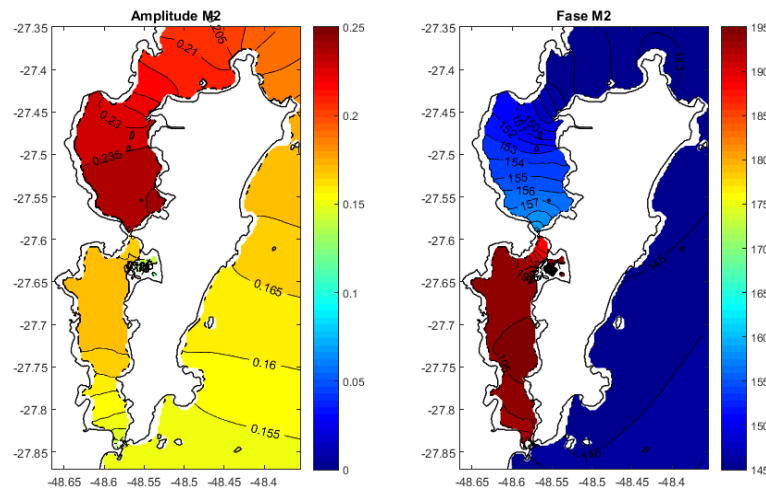


Figura 8 - Amplitude e fase da constituinte M2 da maré modelada. Fonte: Autora (2016).

### 6.2.2 Componente semi-diurna principal solar S2

A componente S2 é a segunda maior onda de maré nessa área, tendo amplitudes de aproximadamente 12cm, ilustrada no mapa da **Erro! Fonte de referência não encontrada..** No interior da Baía as amplitudes nas bordas sul e norte são, respectivamente, de 9cm e 14cm. Seguindo o mesmo padrão da componente M2, os maiores valores de amplitude estão centrados na porção norte.

Segundo Harari *et al.* (1994) a propagação desta componente também apresenta duas frentes, sendo a primeira de Sudoeste e a segunda de Nordeste, o mapa de fase representado na, ilustra sua propagação para sudoeste.

No domínio da Baía a defasagem de fase entre a chegada da onda nas embocaduras das Baías Norte e sul, são cerca de  $52^\circ$ , aproximadamente 1 hora e 42 minutos de atraso em tempo. Possivelmente, essa diferença está relacionada a geometria da embocadura sul, que possui uma ligação com o oceano muito menor do que a região norte.

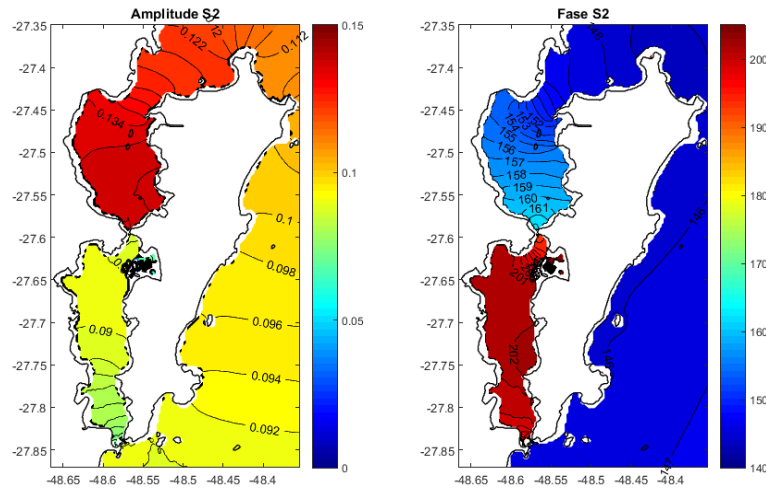


Figura 9 - Amplitude e da constituinte S2 da maré modelada. Fonte: Autora (2016).

### 6.2.3 Componente diurna principal lunar O1

Os valores de amplitude da O1 representam a maior componente diurna na área de interesse. O mapa cotidal de amplitude, *Erro! Fonte de referência não encontrada.*, mostra que a amplitude máxima da constituinte foi de 11 centímetros e apresenta pouca variação em todo o domínio. A *Erro! Fonte de referência não encontrada.* também mostra a propagação da componente no sentido nordeste. Em relação ao atraso de fase no interior da Baía Sul, ela se mostra semelhante às outras constituintes.

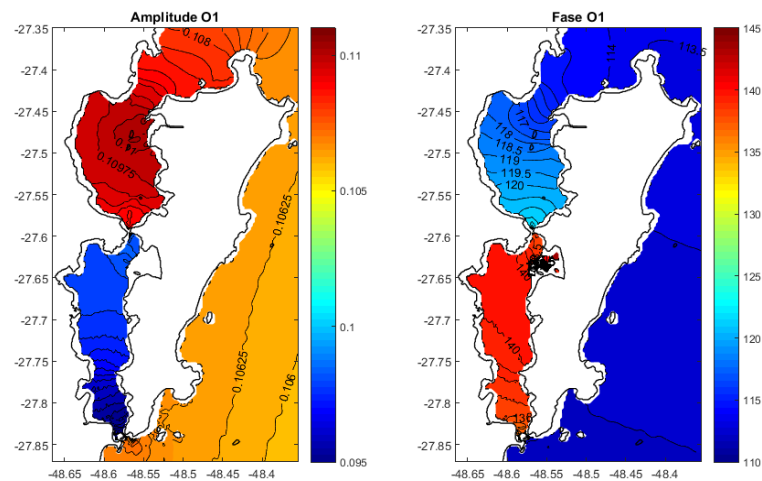
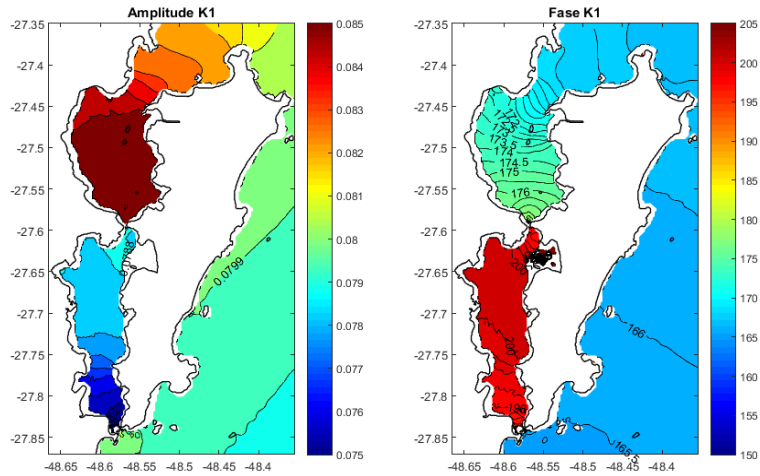


Figura 10 - Amplitude e fase da constituinte O1 da maré modelada. Fonte: Autora (2016).

### 6.2.4 Componente diurna solar-lunar K1

A Figura 11 ilustra as amplitudes da constituinte K1. Assim como a componente O1, ela apresenta pouca variação ao longo do domínio. Sua maior amplitude está no interior da Baía Norte, chegando a 8,5cm. Em relação a fase, assim como nas demais componentes, nota-se um atraso na região da Baía Sul, de aproximadamente 30° em relação a embocadura norte, aproximadamente 1 hora de atraso de tempo.

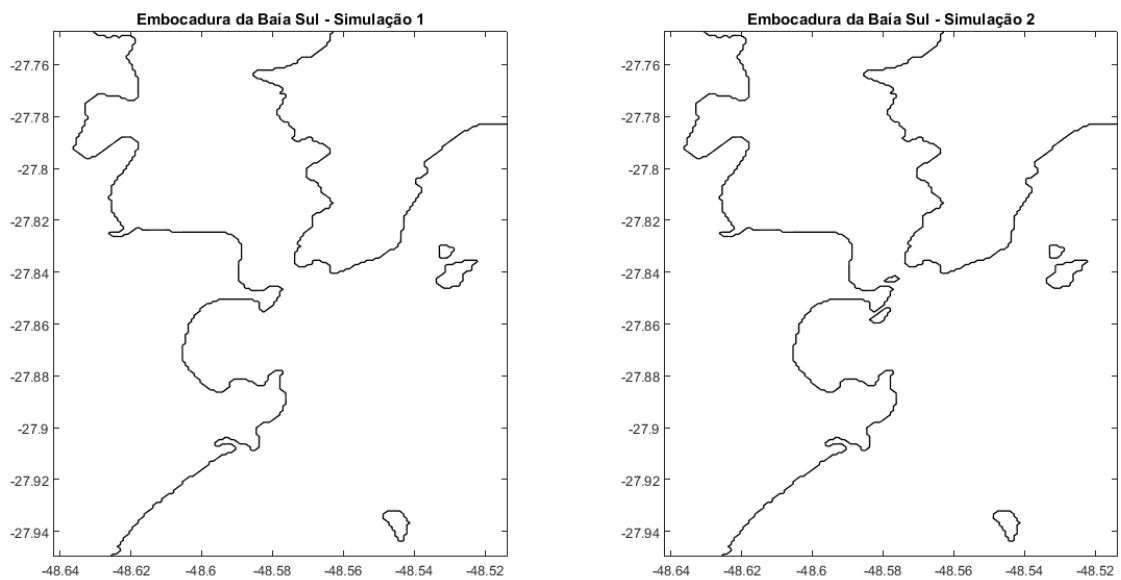


**Figura 11 - Amplitude e fase da constituinte K1 da maré modelada. Fonte: Autora (2016).**

### 6.3 CORRENTES DE MARÉ E NÍVEL DA ÁGUA

Os resultados de nível e correntes foram analisados através de dois cenários distintos, ilustrados pela Figura 12. O primeiro cenário em que a embocadura da Baía Sul não possuía barreira física, e o segundo, utilizado para a análise dos demais resultados, a embocadura da Baía Sul possui a barreira física representada pela ilha de Araçatuba.

Os resultados de nível da água e de correntes de maré para os dois cenários serão apresentados a seguir através da análise da variação do nível de água em perfil latitudinal e campos instantâneos de velocidade, para o período de maré enchente e vazante.



**Figura 12 - Diferença da geometria entre as simulações na Embocadura da Baía Sul.**

### 6.3.1 Simulação cenário 1

Os resultados do modelo do cenário 1 estão mostrados nas Figura 13 e Figura 14. De forma geral, o fluxo de corrente se mostra simétrico entre as porções Sul e Norte da Baía, com velocidades chegando a  $1,17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante a maré enchente e  $0,98\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante o período de vazante. Na região do estreitamento central, as velocidades nos períodos de enchente e vazante foram, respectivamente, iguais a  $0,55\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,32\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

A Figura 13 ilustra o campo instantâneo de velocidade após 4 horas da preamar, período de vazante, com correntes mais intensas no estreitamento central da Baía. Observa-se que o fluxo de corrente é da Baía Sul para a Baía Norte.

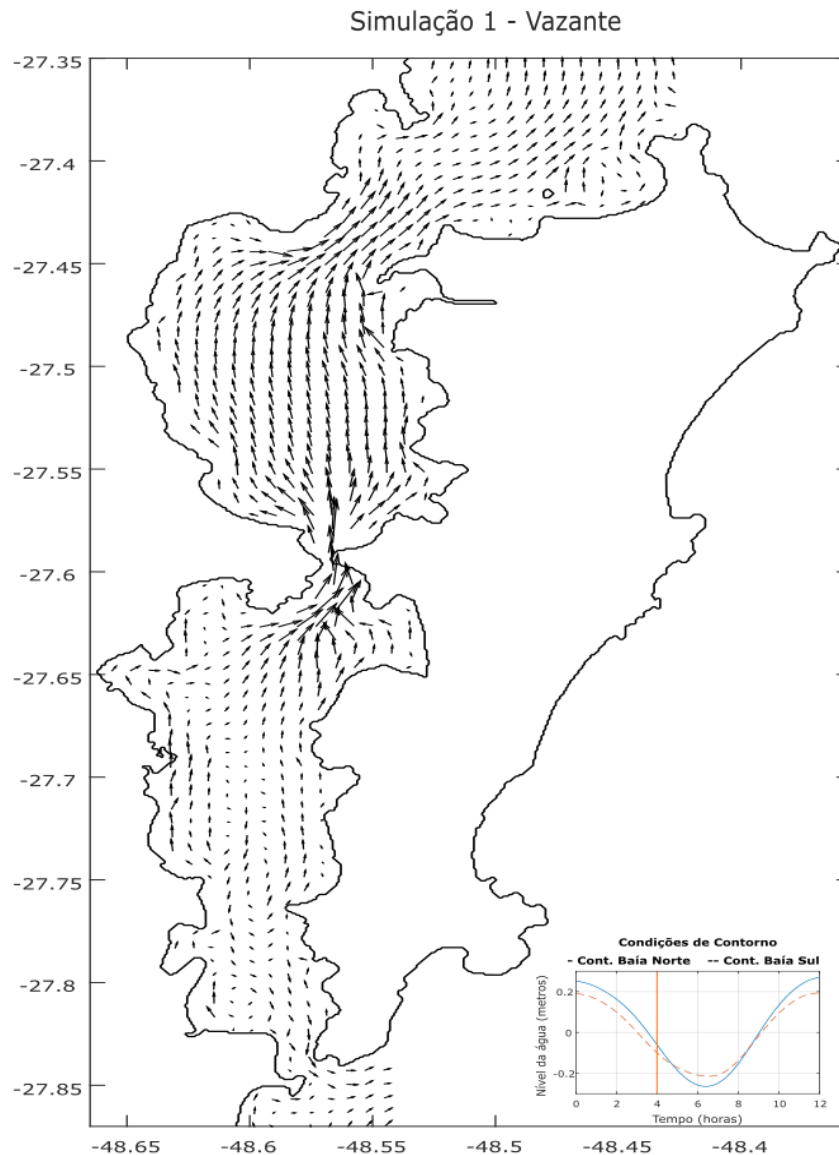


Figura 13 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante vazante - 02 de dezembro de 2013.  
Fonte: Autora (2016).

A figura 14 ilustra o período de maré enchente, 10 horas após a preamar. Neste momento, as correntes apresentam-se mais intensas no estreitamento central e nas proximidades da embocadura da Baía Sul.

O padrão de circulação que ocorre nas figuras, é explicado pelo fato da onda se propagar de sul para norte, enchendo primeiramente a Baía Sul, que neste cenário não apresenta barreira física na sua extremidade.

Nos períodos de vazante, por ter uma maior embocadura, a Baía Norte, se esvazia rapidamente. Dessa forma, na maior parte do tempo o nível de água é mais elevado na região sul, causando um gradiente de pressão com o fluxo de corrente direcionado da Baía Sul para a Baía Norte. Destaca-se ainda que mesmo no período de enchente, quando entra água do oceano na Baía Norte, o fluxo das correntes segue o mesmo padrão do período de vazante, pois neste período a intensidade das correntes na embocadura sul é maior, mantendo o gradiente de pressão.



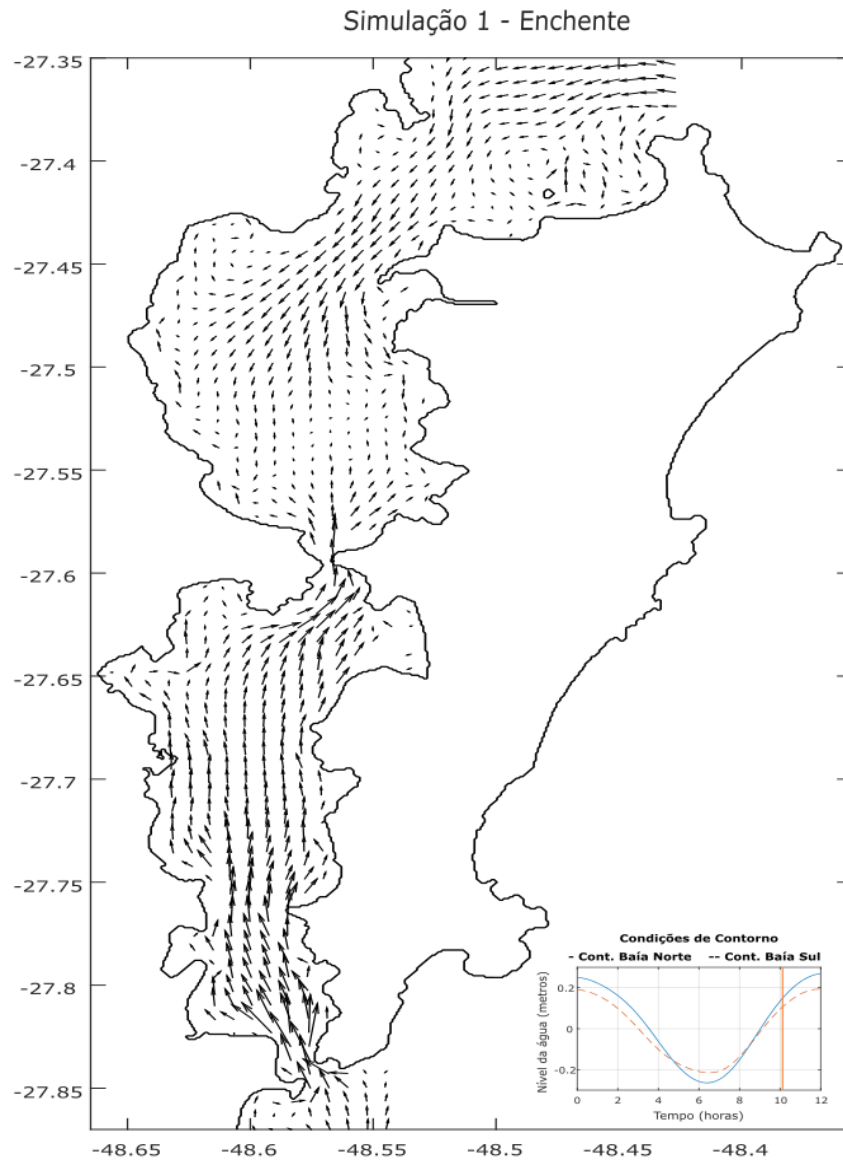


figura 14 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante enchente - 02 de dezembro de 2013.  
Fonte: Autora (2016).

A Figura 15 mostra o corte longitudinal feito para a avaliação da posição da superfície livre a cada 2 horas após a preamar na embocadura norte. Nesta análise constatou-se que, as diferenças entre as fases de propagação da onda são bem menores em relação a defasagem de tempo, ao passar duas horas da preamar na Baía Norte, a Baía Sul também já alcançou sua elevação máxima do ciclo. Além disso, nota-se que, no período entre a 2ª e a 6ª hora o nível da porção sul está mais elevado, e esse padrão começa a se inverter a partir da 8ª hora.

Contudo, observa-se que mesmo o nível da porção norte estando aparentemente maior que o da porção sul, a elevação na embocadura da Baía Sul, excede a da Baía Norte. Esse resultado é explicado pela intensidade das correntes na região da embocadura da Baía Sul.

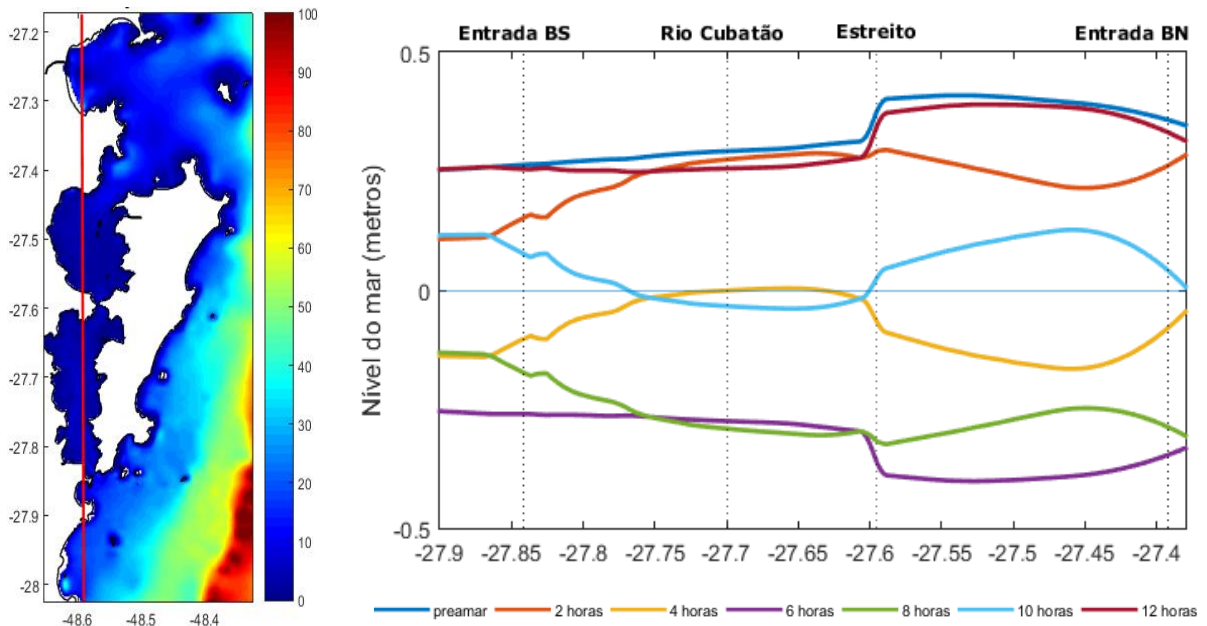


Figura 15 - Corte longitudinal e perfis longitudinais do nível da água na Baía de Florianópolis ao longo de um ciclo de maré M2. O tempo refere-se a alta Maré na entrada sul. Fonte: Autora (2016).

### 6.3.2 Simulação cenário 2

Os resultados do modelo do cenário 2 estão ilustrados nas Figura 16 e Figura 17. De forma geral, e ao contrário da primeira simulação, o fluxo de corrente é bastante assimétrico entre as porções Sul e Norte da Baía.

Observa-se que a Baía Sul e parte da região central tendem a oscilar com maiores magnitudes de correntes. Assim, como pontuado em Prudêncio (2003), constata-se o aparecimento de uma região onde as correntes são mais fracas na porção sul da Baía Norte durante os períodos de sizígia.

O domínio de estudo aponta velocidades de  $1,26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante a maré enchente e  $1,23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante o período de vazante. Na região do estreitamento central, as velocidades foram de  $0,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $0,08\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  nos períodos de enchente e vazante respectivamente. As correntes de maré apresentam-se mais intensas no estreitamento central e principalmente nas proximidades da desembocadura sul da Baía.

A Figura 16 mostra as correntes de maré durante o período de vazante, incidindo o mesmo padrão de enchente, mas revertido, a água flui para fora da Baía Sul através de sua entrada e pelo estreitamento central, enquanto na Baía Norte as correntes de maré são orientadas em direção ao oceano. Por ter uma embocadura maior, a Baía Norte esvazia-se

mais rápido, desta forma o gradiente de pressão gerado pela diferença entre os níveis dentro das baías faz com que os fluxos de correntes sejam direcionados para a Baía Norte.

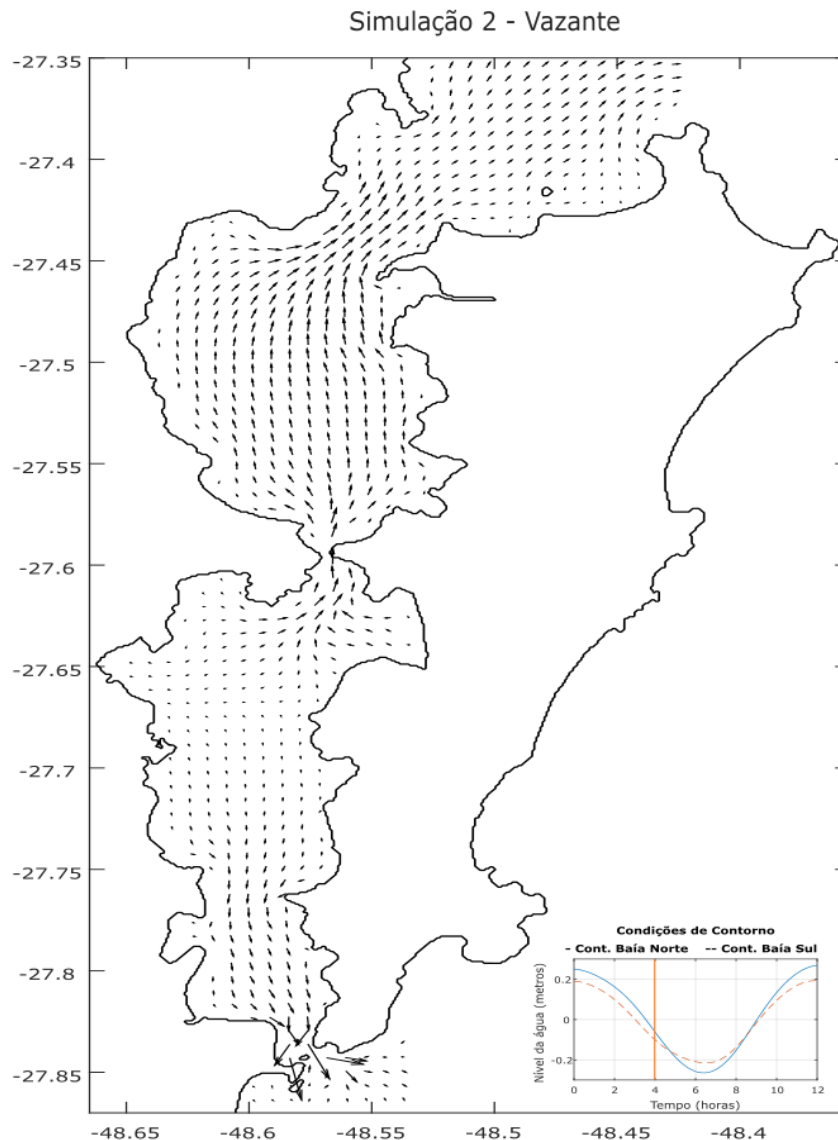


Figura 16 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante vazante - 02 de dezembro de 2013. Fonte: Autora (2016).

O padrão de circulação apresentado na Figura 17, durante a maré enchente é explicado por Melo *et al.* (1997), e corroborado com os dados fornecidos pela empresa CB&I (2010), ilustrados na Figura 18. Durante esse período os fluxos de correntes são mais intensos na Baía Norte e acabam passando pelo estreitamento central, as correntes são mais fracas na região central da Baía Sul e são amplificadas à medida que se aproximam das extremidades.

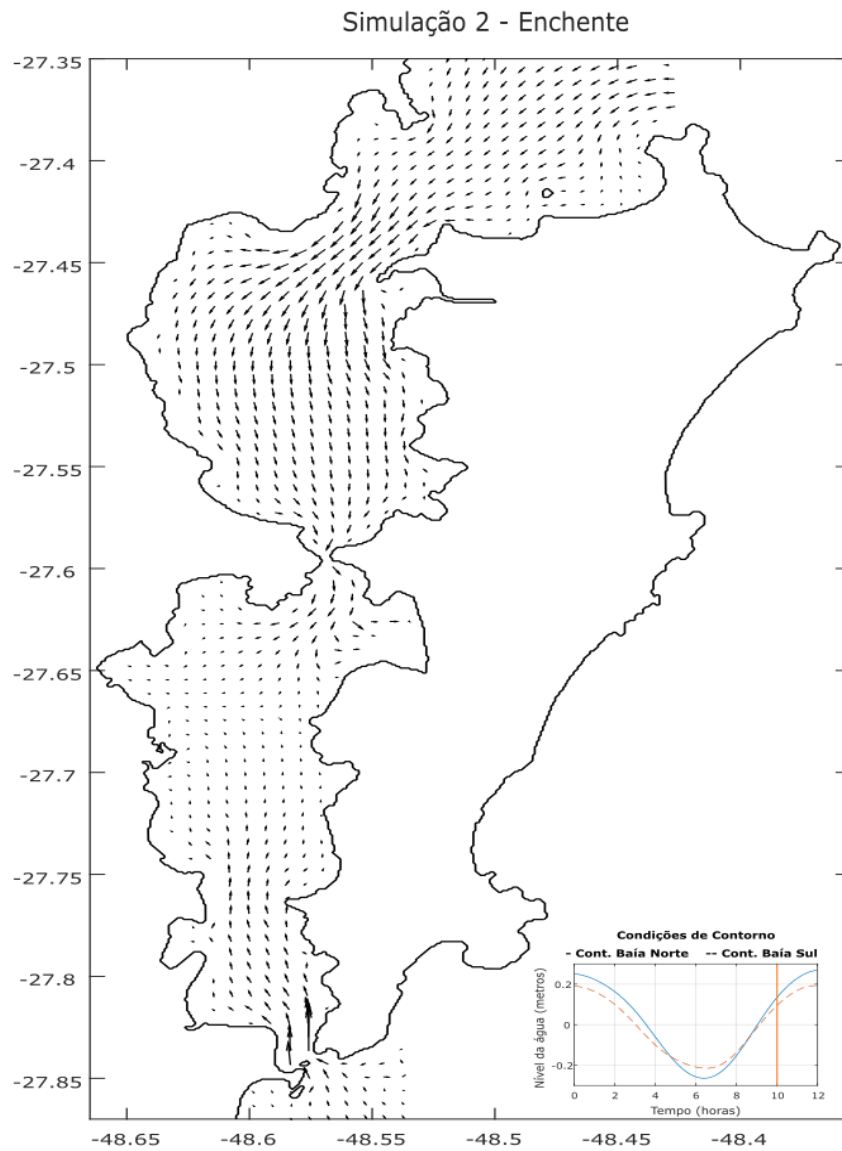


Figura 17 - Campo instantâneo de velocidade em maré de sizígia durante enchente - 02 de dezembro de 2013. Fonte: Autora (2016).

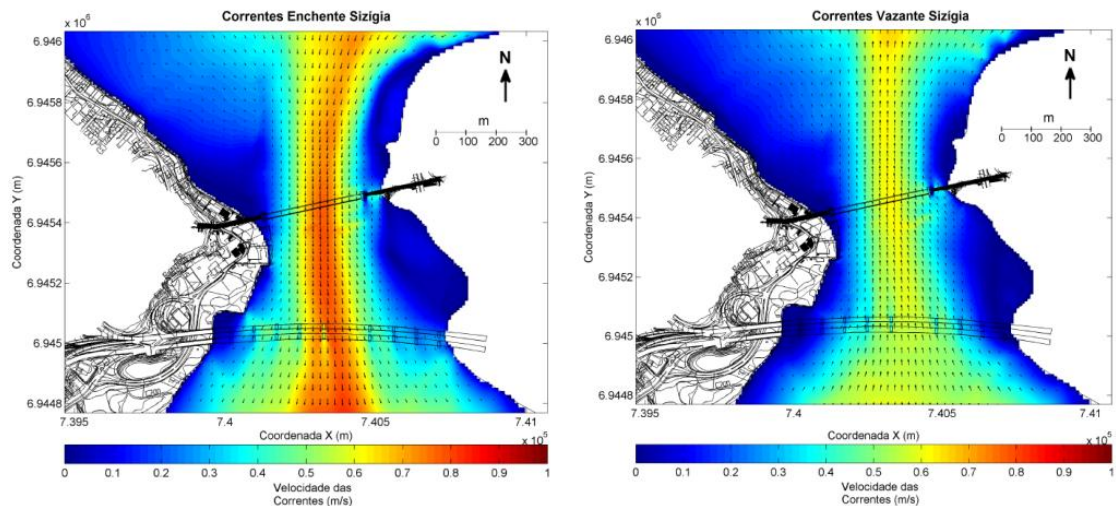


Figura 18 - A) Máxima corrente de maré enchente (corrente para sul). B) Máxima corrente de maré vazante (corrente para norte). Fonte: CB&I (2010).

Valendo-se dos resultados de ambos cenários, é possível corroborar o questionamento final de Melo *et al.* (1997), tendo na forma espacial da Baía, com uma das entradas muito mais estreitas do que a outra a resposta para o mecanismo físico responsável pelos padrões de circulação. Percebe-se que o estrangulamento da embocadura sul, juntamente com a batimetria são os principais fatores que estruturam os fluxos de correntes de maré no domínio de estudo.

A Figura 19 mostra o comportamento do nível da água latitudinalmente ao longo de um ciclo de maré. Nota-se que, o ponto indicado pelo Rio Cubatão, apesar oscilar verticalmente, mantém-se praticamente na horizontal, onde o nível de água aparentemente tende a ficar quase plano. Tal comportamento é explicado por Melo *et al.* (1997) devido a formação de uma onda estacionária da constituinte M2, situada na parte central da Baía Sul, caracterizada pela falta de movimento da água horizontal (uma consequência da ausência de gradientes de pressão horizontais devido à superfície localmente plana).

Essa circulação gerada no interior da Baía é algo previsível pois, sua forma se assemelha ao de um canal de comprimento finito, onde ondas são capazes de penetrar a partir de ambas as extremidades com uma diferença de fase. Assim, o resultado da sobreposição de duas ondas progressivas encontrando-se em direções opostas é, uma onda estacionária.

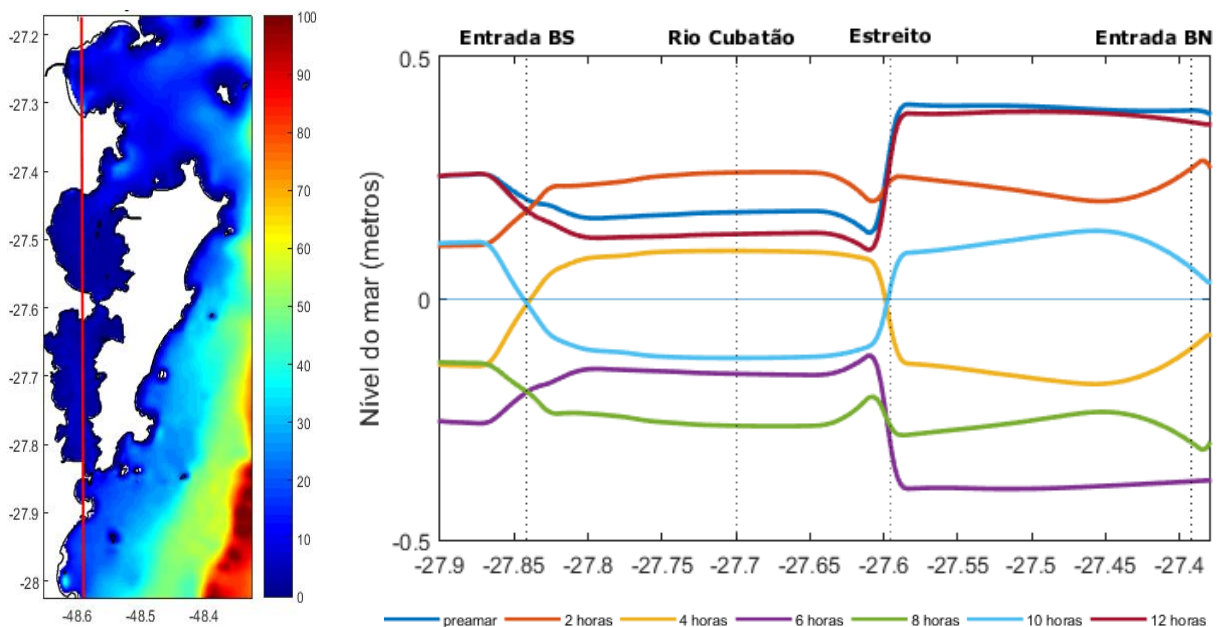


Figura 19 - Corte longitudinal e perfis longitudinais do nível da água na Baía de Florianópolis ao longo de um ciclo de maré M2. O tempo refere-se a alta Maré na entrada sul. Fonte: Autora (2016).

## 7 CONCLUSÃO

A utilização do *Regional Ocean Modeling System* se mostrou eficaz na representação da circulação forçada por marés na região da Baía de Florianópolis, visto que os resultados estatísticos foram significantes e que os dados modelados da segunda simulação se mostram semelhantes a estudos realizados anteriormente na região.

As amplificações das constituintes de maré e as defasagens de fase foram bem representadas, de acordo com as comparações entre as constantes harmônicas de dados bibliográficos e de medição e as calculadas pelo ROMS. As correntes de maré exibiram uma dominância de enchente, com os maiores valores na embocadura sul e no estreitamento central entre as Baías.

A análise conjunta dos dados de amplitudes e correntes de maré ressalta a penetração da onda de maré pelas embocaduras norte e sul, propagando em direções opostas e originando uma onda estacionária, com o anti-nó localizado na região central da Baía Sul. Neste local, as correntes se mostraram muito fracas, igualmente aos gradientes do nível de água. Apesar da literatura citar apenas a componente M2, pode-se observar um comportamento similar nos quatro constituintes analisados.

Contudo, destaca-se que, tais resultados devem ser considerados com restrições, devido a limitação dos dados batimétricos utilizados na modelagem. A comparação dos dois cenários simulados deixou claro que, pequenas variações no domínio modelado, sejam elas relacionadas a geometria do canal, a batimetria ou qualquer fator que altere a realidade do domínio modelado, causam grandes disparidades nos resultados.

Por conseguinte, conclui-se que, uma boa base de dados e amplas campanhas de medições meteoceanográficas, são necessárias para uma modelagem robusta que gere resultados confiáveis, uma vez que a modelagem numérica é somente uma ferramenta e a precisão das informações modeladas é proporcional à qualidade dos dados fornecidos ao modelo.

## REFERÊNCIAS

- ALVES JÚNIOR, Lourival Anastácio. **CARACTERIZAÇÃO HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA, BRASIL**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- AMANTE, C. and B.W. Eakins, 2009. **ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis**. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5C8276M [19 de fevereiro de 2016].
- BONETTI FILHO, J.; NUNES, M. G.; OLIVEIRA, M. S. C.; GRÉ, J. C. R. N. Caracterização do relevo submerso da Baía Norte-SC com base na aplicação de um modelo digital de terreno. II SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA –GEOSUL. **Anais...** Florianópolis-SC. 1998. 211-217p.
- CARVALHO, J.L.B.; SCHETTINI, C.A.F. & T.M. RIBAS. **Estrutura Termohalina do Litoral Centro-Norte Catarinense**. Itajaí: Facimar, 1998.
- CZIZEWESKI, Anthea Carla. **CIRCULAÇÃO NOS ARREDORES DA ILHA DE SANTA CATARINA**. 2016. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- DAVIES, J. L. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeit. F. Geomorph.*, 8, p. 127-142. 1964.
- DHN. Marés e Correntes de Maré; Correntes Oceânicas. Capítulo 10 do Livro **Navegação Costeira Estimada e em águas restritas**, 2002. Disponível em [www.dhn.mar.mil.br](http://www.dhn.mar.mil.br). Acesso em 7/01/2016.
- FLORIPAMANHÃ; AMBIENTE, Magnitude Maré Consultoria e Projeto em Meio. **Estudo-Complementar para Implementação do Plano de Ordenamento Náutico do Município de Florianópolis: Diagnóstico Ambiental**. Florianópolis: [s.i.], 2012. 68 p.
- FREITAS, Pedro Paulo. **Modelagem Hidrodinâmica da Circulação Sobre a Plataforma Continental do Ceará - BRASIL**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- FRIEDRICHS, C. T.; MADSEN, O. S. Nonlinear Diffusion of the Tidal Signal in Frictionally Dominated Embayments. **Journal of Geophysical Research**, v: 97, p. 5637-5650. 1992.
- Governo de Santa Catarina. **Geografia de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.sc.gov.br/geografia>>. Acesso em: 11 fev. 2016.
- HAIIDVOGEL, D. B. *et al.* Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. **Journal of Computational Physics**. v. 227, p. 3595–3624. 2008.

HAIIDVOGEL, D. B.; ARANGO, H. G.; HEDSTROM, K.; BECKMANN, A.; MALANOTTE-RIZZOLI, P.; SHCHEPETKIN, A. F. Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: simulations in nonlinear terrain-following coordinates. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**. v. 32, p. 239–281. 2000.

HARARI, Joseph. **FUNDAMENTOS EM MODELAGEM NUMÉRICA EM OCEANOGRAFIA**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015. 246 p.

HARARI, Joseph. **Marés**. 2007. Site desenvolvido por Danilo R. Vieira. Disponível em: <[https://www.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd\\_capitulo15.php](https://www.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd_capitulo15.php)>. Acesso em: 10 fev. 2015.

HIDROLOGIA, E. I. C., **Determinação dos Parâmetros Oceanográficos na Baía de Santa Catatina**. HIDROLOGIA S.A. Engenharia Industria e comércio. PLANIDRO – Engenheiros Consultores Ltda. Relatório Técnico. 180p. 1971.

JESUS, Leonardo Carvalho. **Hidrodinâmica forçada pela maré astronômica e vento na Plataforma Continental do Espírito Santo para o ano de 2008**. 201. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

LEMONS, Angelo Teixeira. **Modelagem Numérica da Maré Barotrópica na Costa do Espírito Santo**. 2006. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

MACCREADY, Parker *et al.* A model study of tide- and wind-induced mixing in the Columbia River Estuary and plume. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 1, p.278-291, jan. 2009. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.csr.2008.03.015. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0278434308001076?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

MARCHESIELLO, Patrick; MCWILLIAMS, James C.; SHCHEPETKIN, Alexander. Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. **Ocean Modelling**, v. 3, n. 1-2, p.1-20, jan. 2001. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s1463-5003(00)00013-5. Acesso em: 15 fev. 2016.

MÁRIO, Henrique Frasson de Souza; FRANCO, Davide; GUIMARÃES, Sílvia Cesar. Contribuição ao estudo da dinâmica de marés e correntes na Baía de Florianópolis. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP DE ENGENHARIA OCEÂNICA, 2006, Rio Grande. **Anais**. Rio Grande, 2006. p. 1 - 9.

MARTINS, R. P., MELO F. & D. FRANCO. **Circulação hidrodinâmica e dispersão de poluentes na Baía de Florianópolis**. In: Relatório final do Projeto PADCT/CIAMB: Tecnologias para o desenvolvimento sustentável da Bacia do Cubatão, Vol. 2, pp 1-81, 1997.

MELO, E. et al. Circulação Hidrodinâmica e Dispersão de Poluentes na Baía de Florianópolis. In: **Relatório Projeto PADCT/CIAMB - Projeto Cubatão - Tecnologias Ambientais para o Desenvolvimento sustentável da Bacia do Rio Cubatão**. Florianópolis, 1997



MELO, E.; MARTINS, R. P.; FRANCO, D. Standing wave tide at Florianópolis Bay (Brazil) and its influence on bay pollution. **Anais do Bordomer 97- Amenagement et Protection de L'Environnement Littoral**, Bordeaux, France, 1997.

MORI, N.. Open Boundary Condition. **Roms Memorandum**. Qsaka City University. 15 p., 2007.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **OSU Tidal Data Inversion**. Disponível em: <<http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>>. Acesso em: 19 dez. 2015.

NICOLITE, Micaela *et al.* Oscilação do nível de água e a co-oscilação da Maré Astronômica no baixo estuário do Rio Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s.i], v. 27, n. 2, p.225-239, ago. 2009. Disponível em: <[www.scielo.br/rbg](http://www.scielo.br/rbg)>. Acesso em: 12 fev. 2015.

NIMA, National Imagery And Mapping Agency -. **TIDES AND TIDAL CURRENTS**. Disponível em: <[http://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV\\_PUBS/APN/Chapt-09.pdf](http://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/APN/Chapt-09.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2016.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. São Paulo- SP. IBGE.1989.195- 314p.

NOAA. **Tidal Constituent, also known as a Constituent Tide**. 2016. Disponível em: <<https://tidesandcurrents.noaa.gov/constitu.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

NOAA. **Tides and Water Levels**. 2016. Disponível em: <<https://tidesandcurrents.noaa.gov/constitu.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

OCEAN MODELING GROUP (California). **Regional Ocean Modeling System (ROMS)**. 2016. Disponível em: <[www.myroms.org](http://www.myroms.org)>. Acesso em: 10 dez. 2015.

OLIVEIRA, Kyssyanne Samihra Santos. **Comportamento da Maré e das Correntes de Maré em um Sistema Estuarino utilizando o modelo Regional Ocean Modeling System (ROMS)**. 2010. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

PRUDÊNPIO, Ruy de Sá. **Estudo numérico da circulação induzida pela maré na Baía de Florianópolis**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROBERTSON, Robin. Modeling internal tides over Fieberling Guyot: resolution, parameterization, performance. **Ocean Dynamics**, v. 56, n. 5-6, p.430-444, 26 abr. 2006. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1007/s10236-006-0062-5.

RODRIGUES, Maria Laura Guimarães; FRANCO, Davide and SUGAHARA, Shigetoshi. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica** [online]. 2004, vol.22, n.2, pp. 135-151. ISSN 0102-261X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2004000200004>.

ROSMAN, P. C. C., 2001. **Os Modelos para Recursos Hídricos. Gestão Ambiental em Recursos Hídricos**, v. 3, Capítulo 2 (Parte III), Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, COPPE/UFRJ. 2001.

RUFFATO, Daniel Giancolli. **Circulação na Plataforma Continental Interna e Média do Estado de São Paulo durante o verão: estudos numéricos**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SALLES, Francisco J Penido; BENTES, Frederico C Montenegro; SANTOS, José Antonio dos. **Catálogo de estações maregráficas brasileiras**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar - Femar, 2000.

SILVA, L, F. **Identificação de sub-ambientes na baía sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico-sedimentares**. 2002. 123 f. Dissertação (Mestrado em geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

SUMICH, J.L. **An Introduction to the Biology of Marine Lif**. Dubuque, IA: Wm. C. Brown. pp. 30-35. 1996.

TESSLER, Moysés Gonsalez; GOYA, Samara Cazzoli y. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, v. 17, p.11-23, 2005.

THE COASTAL CENTER OF THE UCLA INSTITUTE OF THE ENVIRONMENT (California). **Application of the Regional Ocean Modeling System (ROMS) to Water and Sediment Quality Issues in the Southern California Bight**. 2003. 14 p.

TOBÓN, C. A. P. (2002). **Metodología para la validación de modelos hidrodinámicos utilizando amplia información de campo: aplicación a la Bahía Meldrof em La Costa Del Mar Del Norte Alemán**. Trabajo (Posgrado em Reaprovechamento de Recursos Hidráulicos) - Faculdade Nacional de Mina, Universidad Nacional de Colômbia.

TRUCCOLO, E. C. Estudo do Comportamento do Vento No Litoral Centro-Norte de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Fortaleza, p.451-460, jan. 2011.

TRUCCOLO, Eliana C.; SCHETTINI, Carlos A. F.. Marés Astronômicas na Baía da Babitonga, SC\*. **Notas Técnicas Facimar**, Itajaí, v. 3, n. 1, p.57-66, 1999.

THURMAN, H.V.. **Introductory Oceanography**. New York, NY: Macmillan. p. 252-276. 1994.

VIÉGAS, Nelson José de Farias. **Modelagem numérica das marés no litoral do Espírito Santo**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

WANG, Xiaochun, *et al.* **Tidal simulation using regional ocean modeling systems (ROMS)**. (2006): 13-18.

WARNER, J. C.; SHERWOOD, C. R.; ARANGO, H.G.; SIGNELL, R. P.. 2005: Performance of four Turbulence Closure Methods Implemented using a Generic Length Scale Method. **Ocean Modelling**, **8**, 81-113.