

# Sistema de Previsão de Correntes de Maré em Águas Rasas SISCORAR (versão 2.0)

---

## REFERÊNCIA TÉCNICA

Metodologia, especificações e limitações

---

### INTRODUÇÃO:

O Sistema de Previsão de Correntes de Maré em Águas Rasas (SISCORAR) consiste em um aplicativo capaz de prever a magnitude e o sentido da corrente gerada pela maré astronômica em águas rasas.

---

### LIMITAÇÕES TÉCNICAS DAS PREVISÕES:

As previsões consideram apenas *efeitos referentes à maré astronômica* e se referem à *velocidade média da coluna d'água* (isto é, verticalmente promediada).

*Não são considerados efeitos oriundos de fenômenos atmosféricos*, tais como:

- geração de correntes superficiais devido à tensão de cisalhamento do vento;
- variações do nível do mar devido a empilhamento de água pelo vento (Dinâmica de Ekman); e
- variações do nível do mar relativas a variações na pressão atmosférica (efeito barômetro invertido).

Dessa forma, *pode haver diferenças entre uma previsão e sua respectiva observação*

- quando houver ventos intensos no período em questão e/ou
- quando houver uma variação significativa do nível do mar oriunda de forçantes não-astronômicas.

Ressalta-se, contudo, que as regiões geográficas abrangidas pelo SISCORAR têm *circulação comprovadamente dominada pelos efeitos de maré astronômica*. Foram realizados *rigorosos testes* que avaliaram a capacidade do sistema reproduzir *medições feitas em campo* que, por sua vez, registraram efeitos de todas as naturezas (astronômicos e não-astronômicos). Assim, cada região aprovada teve seu *modelo numérico validado* por tais medições de modo que *as limitações citadas puderam ser consideradas desprezíveis*.

---

### METODOLOGIA UTILIZADA:

1. Modelagem numérica da região de interesse e suas adjacências:

- a) Utilizou-se o modelo hidrodinâmico *Advanced Circulation Model for Oceanic, Coastal and Estuarine Waters* (ADCIRC, <<http://adcirc.org/>>). Este modelo resolve as equações do movimento para fluidos em rotação, com discretização do espaço através do método de elementos finitos e discretização do tempo através do método de diferenças finitas. Ele é utilizado por outras instituições de grande porte para gerar previsões de circulação em regiões costeiras de importante atividade econômica, como portos e baías. O modelo ADCIRC possui código livre e paralelizado, grade não-estruturada e um fórum de discussão ativo e amplamente utilizado.

- b) Foi conduzida uma simulação de 1 ano. Nesta simulação, as equações do movimento foram promediadas verticalmente. Isto é, a cada instante de tempo, a velocidade calculada se referia à velocidade horizontal média da coluna d'água.
- c) Nesta etapa, para fins da modelagem numérica inicial, foram consideradas as seguintes forçantes oceanográficas e atmosféricas:
  - ação da tensão de cisalhamento do vento ao longo do período simulado (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF*);
  - variação de nível astronômico no contorno aberto (*Finite Element Solution 2014, FES2014*);
  - variação de nível não-astronômico no contorno aberto (*Hybrid Coordinate Ocean Model, HYCOM*); e
  - ação de correntes no contorno aberto (*Hybrid Coordinate Ocean Model, HYCOM*).
- d) Não foram consideradas
  - a influência de outras forçantes atmosféricas, como variações do campo de pressão e
  - efeitos baroclínicos, oriundos de variações da massa específica da água do mar.
- e) As simulações de corrente do modelo numérico foram validadas através da comparação entre seus resultados e medições realizadas em campo.

## 2. Criação de séries temporais para cada nó de cálculo:

Para cada um dos nós de cálculo do modelo, foram criadas séries temporais de velocidade zonal (leste-oeste) e de velocidade meridional (norte-sul) de acordo com resultados horários do modelo numérico. As especificações para cada região são detalhadas abaixo.

## 3. Análise harmônica para cada nó de cálculo:

- a) Foi conduzida uma análise harmônica na série temporal de cada nó de cálculo do modelo, de modo a detectar as componentes harmônicas relevantes.
- b) Foram determinadas, para cada nó de cálculo, a lista de componentes harmônicas relevantes assim como suas respectivas amplitudes e fases relativas ao meridiano de *Greenwich*.

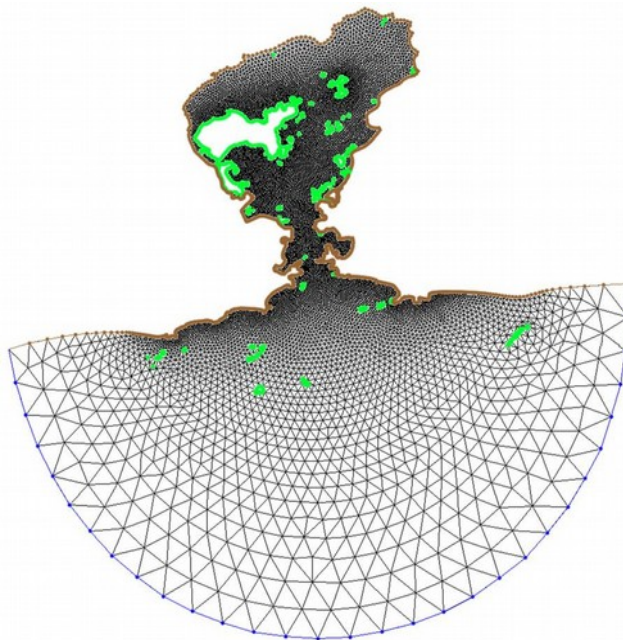
## 4. Cálculo de previsão das correntes de maré:

- a) As previsões das correntes zonais e meridionais foram calculadas conforme as características de cada componente. Isto é, o valor predito em cada ponto é igual à somatória do efeito individual de cada uma das componentes relevantes para aquele nó, considerando suas respectivas frequências, amplitudes e fases, assim como correções nodais aplicáveis.
- b) Desta forma, para fins deste cálculo de previsão, não foi considerada nenhuma forçante atmosférica.
- c) A magnitude e o sentido da corrente de maré prevista foram então calculados a partir das previsões das correntes zonais e meridionais.

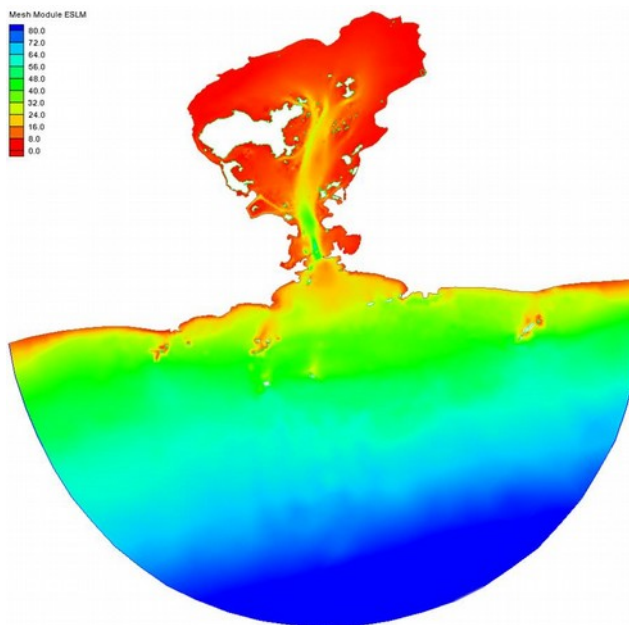
---

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS POR REGIÃO:**

**1. BAÍA DE GUANABARA**



*Figura 1: Grade não-estruturada utilizada na modelagem numérica da Baía de Guanabara.*



*Figura 2: Batimetria interpolada utilizada na modelagem numérica da Baía de Guanabara.*

**Características gerais da malha:**

- Limites de longitude: 43.5 °W, 42.8 °W
- Limites de latitude: 22.7 °S, 23.3 °S
- Profundidades: 0 a 103.5 m
- Número de nós: 16905
- Número de elementos triangulares: 32063
- Resolução da grade em ambiente costeiro: ~50 m
- Resolução da grade ao largo: ~4 km

**Características gerais da modelagem:**

- Passo de tempo do modelo: 0.5 s para cálculos e 1 h para gravação dos dados de saída
- Período total de modelagem: 1 ano (ano de 2017)
- Análise harmônica: programa *t\_tide* para a linguagem de programação *Python*. A análise harmônica dos resultados da modelagem compreendeu o período de 1 ano; a dos dados observados compreendeu o período de 32 dias. Os dados observados foram utilizados para validação da modelagem no que se refere à quantidade de energia referente às correntes de maré. O aplicativo contém apenas resultados da modelagem numérica.
- Frequência dos dados utilizados para a análise harmônica: 1 dado/hora
- Validação do modelo: dados oriundos de dois *Acoustic Doppler Current Profilers* (ADCPs) e de dois marégrafos
- Quantidade de componentes harmônicas detectadas: 13
- Lista de componentes harmônicas detectadas:  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $M_4$ ,  $M_6$ ,  $M_8$ ,  $MN_4$ ,  $MS_4$ ,  $N_2$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $S_2$ .
- Componente harmônica de maior frequência detectada:  $M_8$  (~3 horas/ciclo)
- Componente harmônica de menor frequência detectada:  $Q_1$  (~27 horas/ciclo)

Os **dados de batimetria** utilizados para a construção da malha são originários de sondagens realizadas pela Marinha do Brasil.

## 2. BAÍA DE SEPETIBA

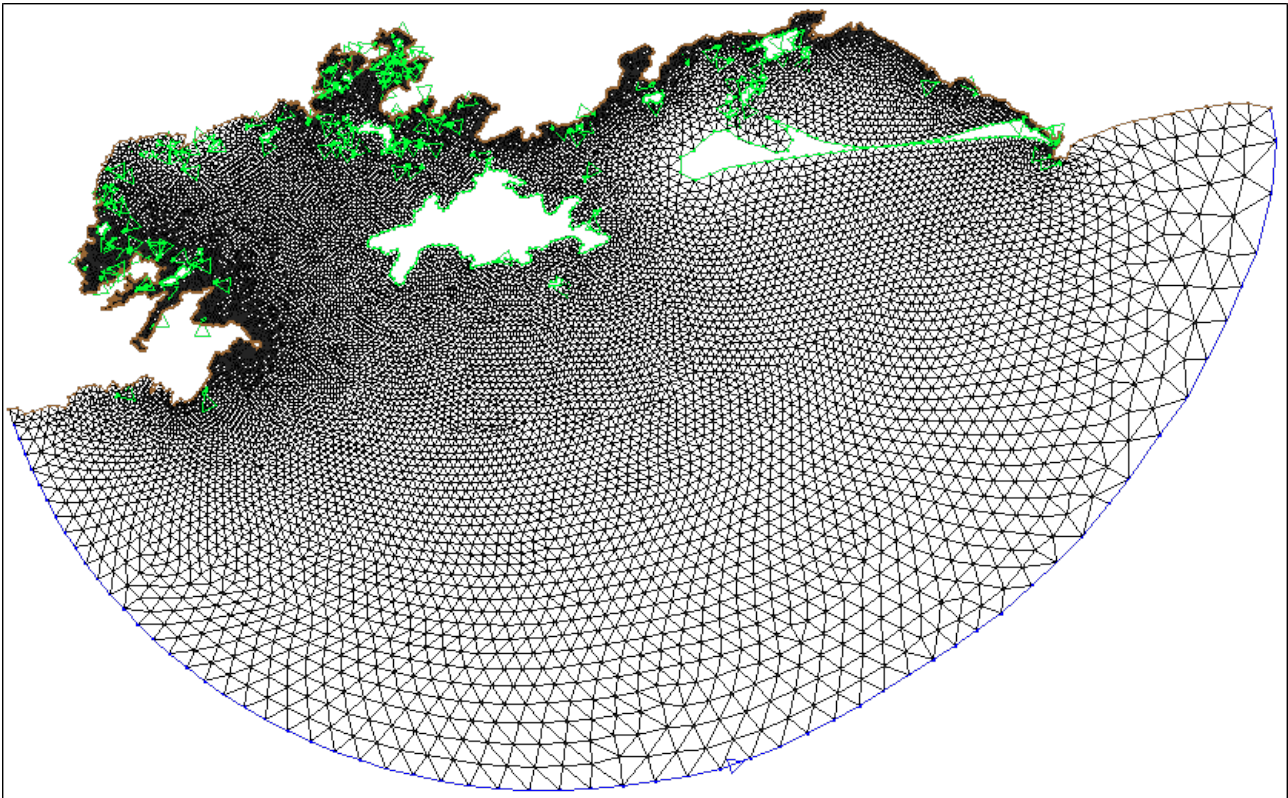


Figura 3: Grade não-estruturada utilizada na modelagem numérica da Baía de Sepetiba.

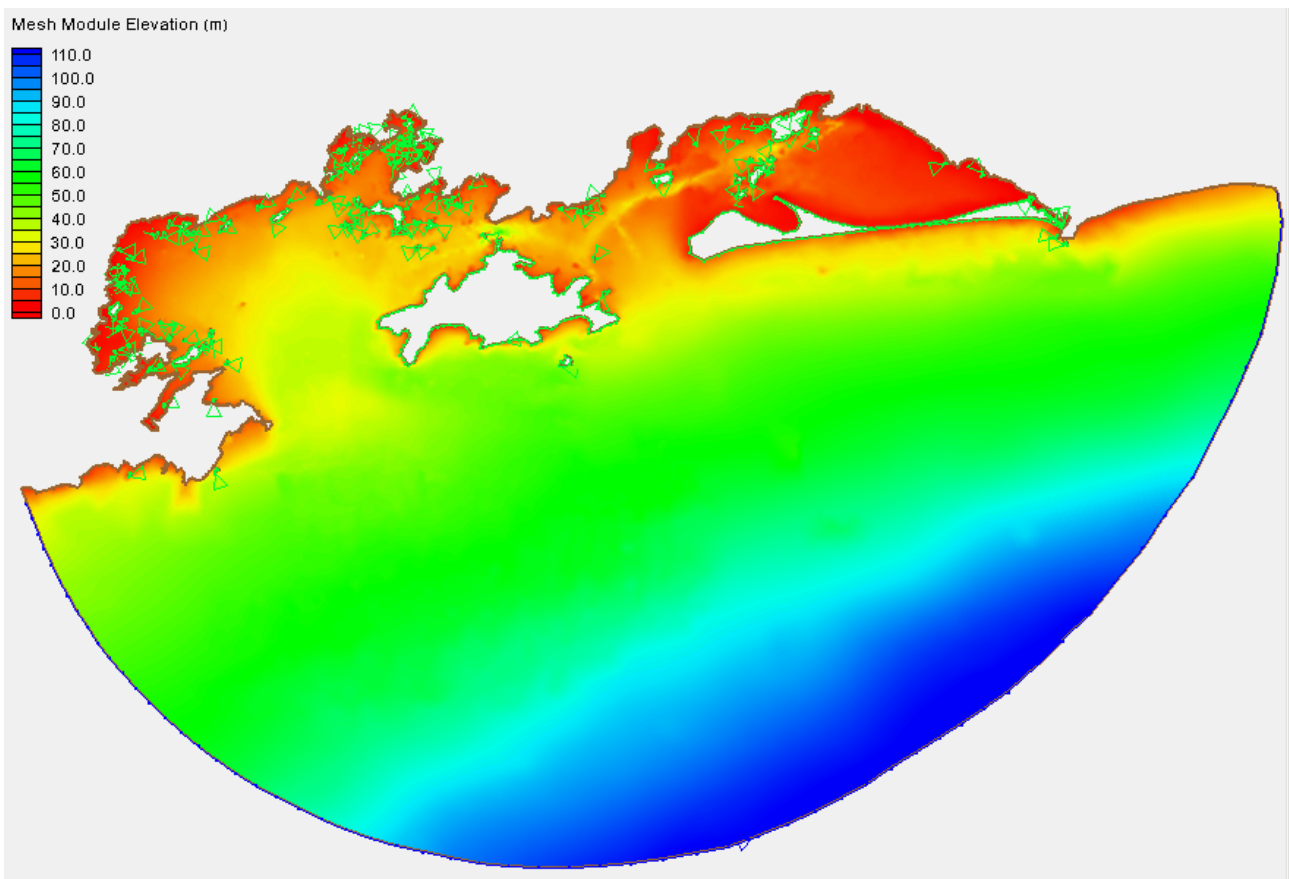


Figura 4: Batimetria interpolada utilizada na modelagem numérica da Baía de Sepetiba.

### Características gerais da malha:

- Limites de longitude: 44.8 °W, 43.3 °W
- Limites de latitude: 22.9 °S, 23.8 °S
- Profundidades: 0 a 113.0 m
- Número de nós: 13517
- Número de elementos triangulares: 25325
- Resolução da grade em ambiente costeiro: ~450 m
- Resolução da grade ao largo: ~4 km

### Características gerais da modelagem:

- Passo de tempo do modelo: 0.5 s para cálculos e 1 h para gravação dos dados de saída
- Período total de modelagem: 1 ano (ano de 2017)
- Análise harmônica: programa *t\_tide* para a linguagem de programação *Python*. A análise harmônica dos resultados da modelagem compreendeu o período de 1 ano; a dos dados observados compreendeu o período de 32 dias. Os dados observados foram utilizados para validação da modelagem no que se refere à quantidade de energia referente às correntes de maré. O aplicativo contém apenas resultados da modelagem numérica.
- Frequência dos dados utilizados para a análise harmônica: 1 dado/hora
- Validação do modelo: dados oriundos de cinco *Acoustic Doppler Current Profilers* (ADCPs)
- Quantidade de componentes harmônicas detectadas: 13
- Lista de componentes harmônicas detectadas:  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $M_2$ ,  $M_4$ ,  $M_6$ ,  $M_8$ ,  $MN_4$ ,  $MS_4$ ,  $N_2$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $Q_1$ ,  $S_2$ .
- Componente harmônica de maior frequência detectada:  $M_8$  (~3 horas/ciclo)
- Componente harmônica de menor frequência detectada:  $Q_1$  (~27 horas/ciclo)

Os **dados de batimetria** utilizados para a construção da malha são originários de sondagens realizadas pela Marinha do Brasil.

---

### **REFERÊNCIAS:**

1. Modelo hidrodinâmico ***Advanced Circulation Model for Oceanic, Coastal and Estuarine Waters*** (ADCIRC): <<http://adcirc.org/>>.
2. Livro *Marés – Fundamentos, Análise e Previsão*. Autor: Alberto dos Santos Franco. 2ª edição, Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.
3. Livro *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Autores: Richard E. Thomson, William J. Emery. 3ª edição, Editora Elsevier.
4. Livro *Introductory Dynamical Oceanography*. Autores: Stephen Pond, George L. Pickard. 2ª edição, Editora Elsevier.
5. Livro *Descriptive Physical Oceanography*. Autores: Lynne D. Talley, George L. Pickard, William J. Emery, James H. Swift. 6ª edição, Editora Elsevier.