

# CARACTERIZAÇÃO DA CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA BIDIMENSIONAL DA BAÍA DE SEPETIBA

Cynara L. da Nóbrega Cunha <sup>1</sup>, Paulo C. C. Rosman <sup>2</sup> e Teófilo C. N. Monteiro<sup>1</sup>.

**Resumo** – Um estudo da caracterização da circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba é apresentado neste trabalho. O modelo bidimensional de circulação hidrodinâmica escolhido para o estudo usa elementos finitos na discretização espacial e diferenças finitas na discretização temporal. Os resultados obtidos pelo modelo foram confrontados com dados de campo medidos em alguns pontos na Baía, e apesar da falta de dados ambientais para que se promovesse uma calibração do modelo, apresentaram uma boa concordância. Foi possível ainda definir a estrutura hidrodinâmica da Baía e caracterizar o padrão de escoamento residual. Os resultados do modelo mostram que, na Baía, a velocidade das correntes não ultrapassa 1,0 m/s em situação de maré de sizígia e 0,3 m/s em situação de maré de quadratura. As velocidades residuais são extremamente fracas, exceto nas embocaduras de alguns estuários.

**Abstract** – A study concerning the characterization of the circulation of the Spetiba Bay is presented in the work. The two dimensional model adopted for the study employs finite elements in the spatial discretization and finite difference in the time discretization. The results furnished by the numerical model were compared with the measured data in some defined points of Bay; in spite the absence of environment data that could be useful in the calibration of the model, good level agreement was achieved. The hydrodynamic structure of the Bay is characterized and residual circulation has been defined. The numerical results show that the maximum velocities attaining to 1,0 m/s and 0,3 m/s for the minimum velocities. The residual velocities are extremely lower, except in the mouth of some estuaries.

**Palavras-Chave** : Circulação Hidrodinâmica, Baía de Sepetiba, Escoamento Residual.

---

<sup>1</sup> Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental – ENSP- FIOCRUZ.

Rua Leopoldo Bulhões, 1480 Tel. (21) 2598-2747 - 5<sup>o</sup> Andar - CEP:21041-210 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
cynaracrrer@uol.com.br

<sup>2</sup> Programa de Engenharia Oceânica – Área de Eng. Costeira - COPPE Universidade Federal do Rio de Janeiro.  
Campus Universitário – Ilha do Fundão - Cx.Po. 68508; CEP:21945-970 – Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## INTRODUÇÃO

A Baía de Sepetiba está localizada próxima à região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro e é uma, entre as muitas baías, que podem ser encontradas ao longo da costa do Estado do Rio de Janeiro. A Baía de Sepetiba constitui importante criadouro natural para moluscos, crustáceos e peixes, o que torna a pesca importante atividade econômica, juntamente com as atividades ligadas ao turismo, dada a sua beleza natural e a proximidade da região metropolitana do Rio de Janeiro. Esta proximidade, entretanto, trouxe graves problemas ambientais à Baía e, no que se refere à qualidade da água, os problemas foram provocados principalmente pelo lançamento de esgotos sanitários e de resíduos sólidos urbanos, principalmente na porção leste. A Baía de Sepetiba tem aproximadamente 40 Km, de leste a oeste, e 20 Km, de norte a sul, com um perímetro de aproximadamente 130 Km. A profundidade, que não ultrapassa 10 m na sua maior parte, no canal principal pode chegar a 20m.

O Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), juntamente com a Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica (AECO) da COPPE/UFRJ, desenvolvem um projeto conjunto com o objetivo de estudar a dispersão de alguns parâmetros de qualidade da água na Baía de Sepetiba através do desenvolvimento de um modelo de qualidade da água considerando várias espécies. O transporte de uma dada substância em um corpo d'água é dominado pela advecção, sugerindo assim uma enorme dependência entre a simulação hidrodinâmica e o processo de transporte (Oliveira *et al.*, 2000). Neste contexto, a correta caracterização da circulação hidrodinâmica na Baía é o primeiro passo no estudo da dispersão de escalares passivos. Neste trabalho, caracterização da circulação hidrodinâmica da Baía, que será usada posteriormente no estudo da dispersão de poluentes ao longo da Baía de Sepetiba, é apresentada.

Considerando a extrema complexidade da circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba e centrando a atenção nos principais fenômenos que atuam na circulação, e admitindo ainda que a circulação de interesse é aquela decorrente de forças motrizes de longo período, resultante das interações das marés e dos ventos, pode-se definir o modelo mais adequado para a caracterização da circulação hidrodinâmica desta região. Dados existentes indicam que a estratificação no local é em geral fraca ou inexistente. Entretanto, principalmente em situações de marés de quadratura, é possível que haja alguma estratificação significativa nas regiões próximas à embocadura dos principais estuários. (Rosman, 1998).

Como as profundidades locais são pequenas, e os padrões de estratificação muito fracos, a velocidade das correntes pode ser bem representada por meio de variáveis médias na vertical. Nestes casos as equações governantes de conservação de quantidade de movimento e massa são

promediadas na dimensão vertical, reduzindo a dimensão do problema. Além da quase homogeneidade da coluna d'água, a validade de tal simplificação baseia-se também no fato de as escalas horizontais serem pelo menos duas ordens de grandeza maiores que as verticais e do escoamento de interesse ser predominantemente horizontal. Sendo assim, no estudo da caracterização da circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba foi usado um modelo hidrodinâmico bidimensional em planta.

O modelo utilizado faz parte do Sistema de Base Hidrodinâmica Ambiental, denominado SisBahia, desenvolvido pela Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ. O SisBahia é capaz de realizar modelagem ambiental de corpos d'água costeiros e é constituído por um modelo de circulação hidrodinâmica bidimensional para corpos d'água rasos, um modelo de transporte Euleriano Advectivo-Difusivo e um modelo de transporte Lagrangeano Advectivo-Difusivo. Para maiores informações sobre o SisBahia o leitor deve repostar-se a Rosman, 2000.

O SisBahia utiliza elementos finitos na discretização espacial e diferenças finitas na discretização temporal. Atenção espacial deve ser dada à técnica numérica utilizada e à discretização das tensões turbulentas, parametrizadas segundo as técnicas de filtragem derivadas da técnica conhecida como Simulação de Grandes Vórtices ( LES, Large Eddy Simulation). Maiores detalhes em Aldama, 1985 e Rosman, 1987.

Para a implementação da modelagem da circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba, diferentes cenários foram considerados. A simulação foi realizada entre os dias 15/04/96 e 10/05/96, nos quais ocorreram situações de marés de sizígia e quadratura, além da entrada de uma frente fria. Neste período, através de um projeto de cooperação técnica entre a FEEMA/GTZ, foram feitas medições de corrente em 4 pontos da Baía de Sepetiba e os resultados obtidos pelo modelo foram comparados com os dados medidos.

A primeira seção deste trabalho apresenta uma descrição do domínio modelado, bem como as condições de contorno utilizadas. Os resultados e a análise da caracterização da circulação e as correntes residuais são apresentados nas seções seguintes. Na última seção são apresentadas as conclusões do trabalho. Não será descrito neste trabalho o modelo matemático usado para simular a circulação hidrodinâmica bidimensional, bem como o modelo numérico e as condições de contorno envolvidas. Maiores informações sobre o modelo podem ser obtidas em Rosman, 1987 e Rosman, 2000.

## APLICAÇÃO DO MODELO À BAÍA DE SEPETIBA

O domínio estudado, a Baía de Sepetiba, situa-se no Estado do Rio de Janeiro, na longitude  $44^{\circ}$  W e na latitude  $23^{\circ}$  S, representando uma área de aproximadamente  $305 \text{ Km}^2$ .

A Baía de Sepetiba é um corpo de águas salinas e salobras, comunicando-se com o Oceano Atlântico através de duas passagens: uma na parte oeste e outra na parte leste, esta menor, pelo canal que deságua na Barra de Guaratiba. Considerando que o interesse do estudo é a caracterização da circulação hidrodinâmica dentro da Baía de Sepetiba, o domínio definido para o estudo compreende toda a Baía, com uma pequena extensão na região da Baía da Ilha Grande. Desta forma é possível estudar a circulação ao longo da Baía considerando as influências das regiões vizinhas sobre a sua circulação.

O domínio definido na modelagem é mostrado na Figura 1, onde também pode ser observada a malha de elementos finitos quadráticos usada na discretização do domínio, a partir de elementos quadrangulares sub-paramétricos Lagrangeanos. A batimetria da Baía, apresentada na Figura 2, foi obtida a partir das cartas náuticas da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) n<sup>o</sup> 1607, escala 1:80.000 e n<sup>o</sup> 1622, escala 1:40.122.

Na simulação do padrão de circulação hidrodinâmico foi considerada a maré medida na Ilha Guaíba entre os dias 15/04/96 e 10/05/96, fornecidas pela DHN, como o principal forçante, uma vez que a circulação é regida principalmente pelo afluxo e efluxo da maré (Cunha e Rosman, 1997). Na Figura 3 é mostrada a curva de nível d'água medida na Ilha Guaíba. Pode-se observar uma condição de maré meteorológica típica de entrada de frente fria durante este período. Nota-se que no dia 19/04/96 o nível médio estava cerca de 75 cm acima do usual e próximo do usual no dia 23/04/96. Na maré de quadratura, entre os dias 26/04/96 e 28/04/96, o nível médio estava cerca de 40 cm acima do usual. Pode-se observar que o intervalo simulado compreende situações de maré de sizígia e maré meteorológica, maré de quadratura e maré meteorológica e maré de sizígia. A imposição da curva de maré é feita ao longo dos contornos abertos do domínio modelado (Fischer, 1979).

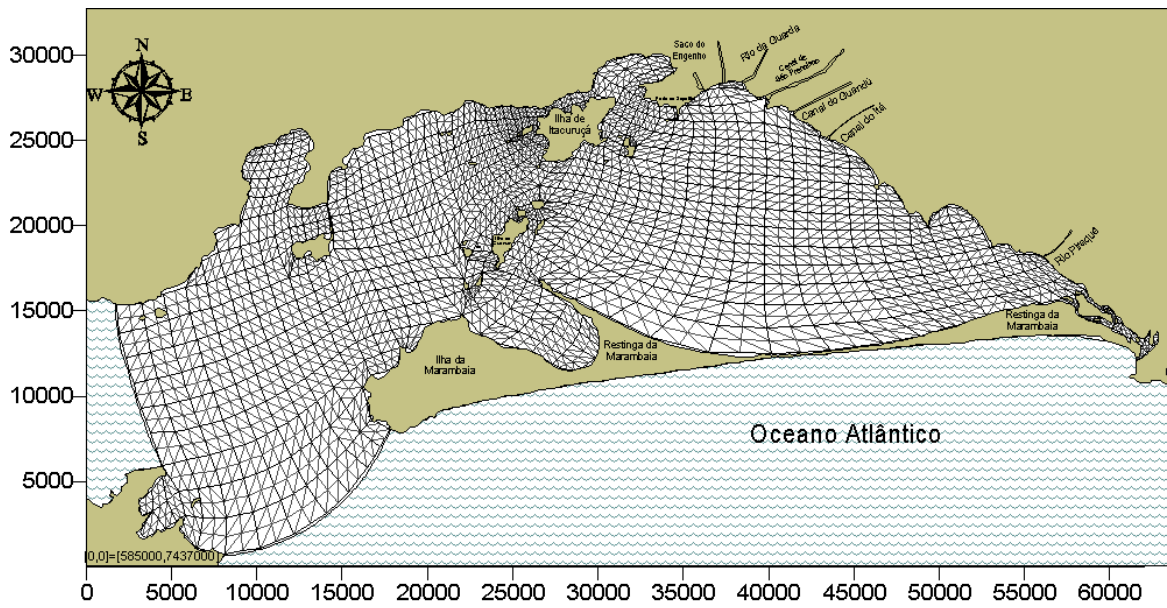


Figura 1 - Domínio de modelagem para o sistema da Baía de Sepetiba, mostrando a malha com 553 elementos finitos e 2477 nós.

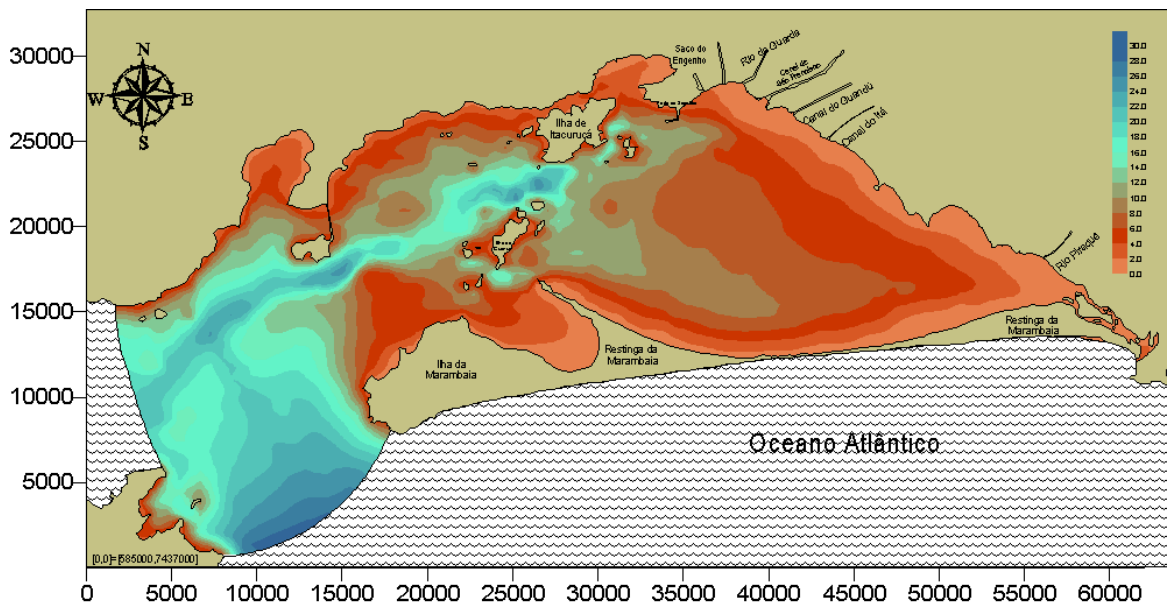


Figura 2 - Visualização da topografia de fundo do domínio de modelagem a partir da discretização apresentada Figura 1.

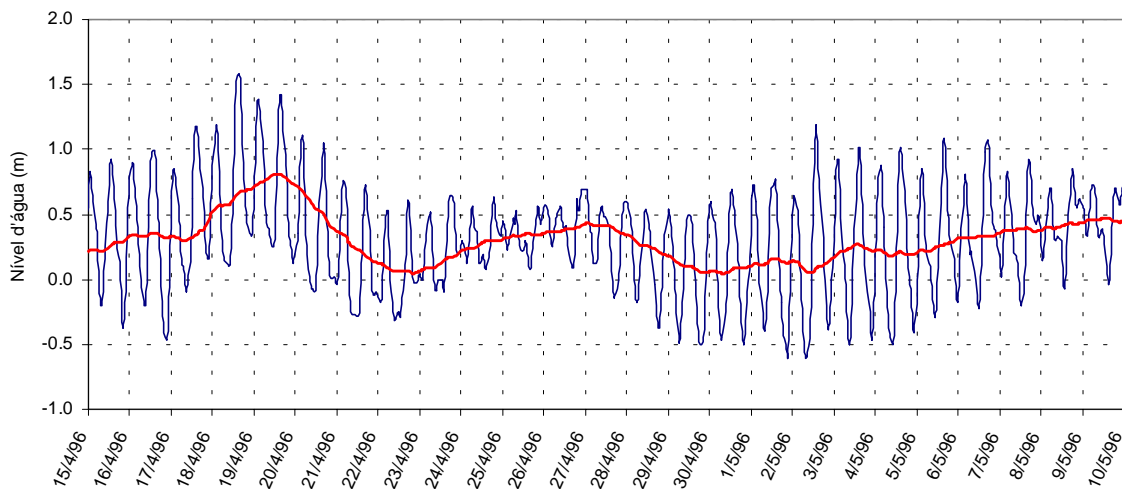


Figura 3 - Curva de maré utilizada na modelagem, obtida a partir de dados fornecidos pela DHN na Ilha Guaíba. O nível zero corresponde ao nível médio do mar na região. A diferença entre o zero e o nível médio diário é a maré meteorológica.

Os dados de vento utilizados foram medidos na região de Santa Cruz, próxima à Baía. Considerou-se o campo de vento uniforme no espaço, mas variando ao longo do tempo, com valores definidos a cada hora. Foram considerados ainda seis rios afluentes na região modelada da Baía de Sepetiba. As vazões médias adotadas podem ser observadas na Tabela 1. A localização dos rios pode ser observada na Figura 1.

Tabela 1 – Vazões dos rios afluentes ao domínio da Baía de Sepetiba.

|                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Rio da Guarda          | 19,1 m <sup>3</sup> /s  |
| Canal de São Francisco | 187,0 m <sup>3</sup> /s |
| Canal do Guandú        | 8,8 m <sup>3</sup> /s   |
| Canal do Itá           | 3,2 m <sup>3</sup> /s   |
| Saco do Engenho        | 0,5 m <sup>3</sup> /s   |
| Rio Piraquê            | 4,9 m <sup>3</sup> /s   |

O coeficiente de atrito do fundo pode ser calculado via coeficiente de Chèzy. Este coeficiente depende da amplitude da rugosidade equivalente de fundo, definida a partir da composição e da distribuição de sedimentos no fundo (Abbot e Basco,1989). Na porção oeste predomina areia ( com valores em torno de 0,030m ), caracterizada por uma alta dinâmica das marés. Na região próxima à ilha e à restinga de Marambaia também há predominância de areia, mostrando uma grande

influência da restinga. Na parte leste predominam os sedimentos argilo-siltosos, com valores em torno de 0,015m (Feema,1998). A Figura 3 mostra a distribuição espacial da amplitude da rugosidade de fundo no domínio de modelagem.

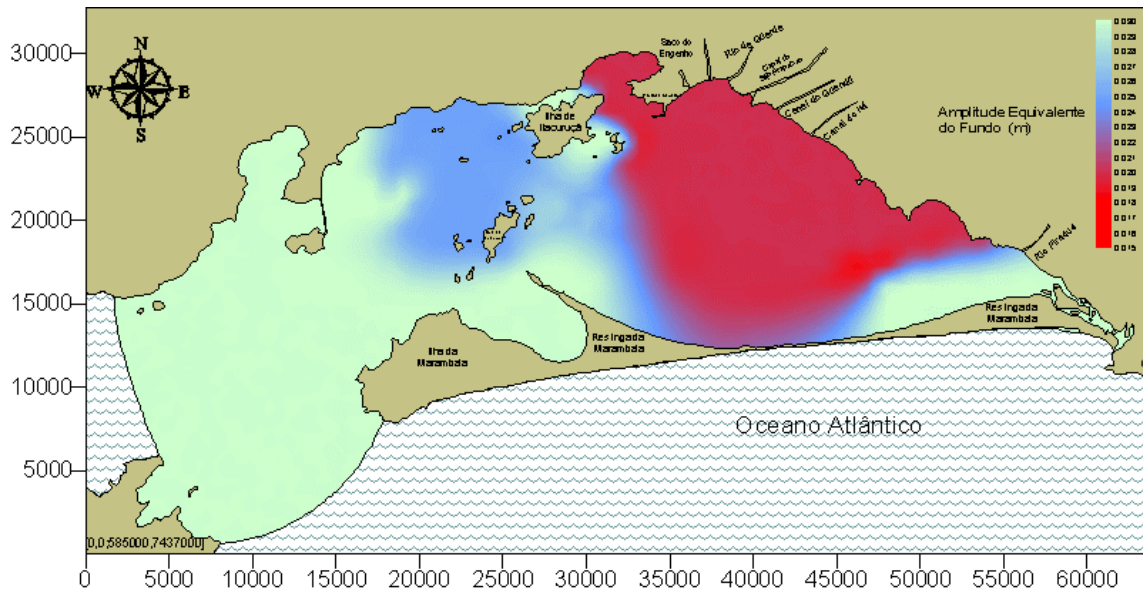


Figura 3 - Visualização da amplitude da rugosidade do fundo do domínio de modelagem.

## RESULTADOS

Os resultados da modelagem da circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba, apresentados nesta seção, devem ser considerados qualitativamente, visto que não foi possível fazer a calibração e validação do modelo dentro do intervalo de tempo simulado. Como as medições disponíveis para comparação referem-se ao ano de 1996, seria necessário alimentar o modelo com dados referentes a este período. Neste caso, a batimetria deveria ser aquela observada no período, com cuidado especial na região do canal principal que sofre dragagem constante; as vazões dos rios teriam que ser variáveis, e principalmente, a curva de maré usada no contorno aberto deveria basear-se em registros de maré em pontos mais próximos da fronteira. Rosman, 1998, mostrou que as componentes de maré sofrem uma significativa amplificação das suas componentes à medida que se vai para o interior da Baía de Sepetiba. Tal fato pode explicar a diferença encontrada entre as intensidades das componentes das velocidades, já que a maré usada no contorno aberto foi medida dentro da Baía.

Vale, no entanto, ressaltar que, como foram usados dados de maré e vento medidos nas mesmas datas em que campanhas de medição foram efetuadas pela FEEMA no âmbito do projeto de cooperação com a GTZ, comparações podem ser efetuadas. Com um trabalho de ajustamentos

pode-se obter melhor concordância entre as medições e os resultados, aumentando assim o caráter qualitativo dos resultados do modelo. A Figura 4 mostra a localização das estações onde foram efetuadas medições.

A simulação foi realizada entre os dias 15/04/96 e 10/05/96. Neste intervalo pode-se observar três cenários distintos: *Cenário 1*, situação de maré de sizígia e maré meteorológica; *Cenário 2*, maré de quadratura e maré meteorológica e *Cenário 3*, maré de sizígia.

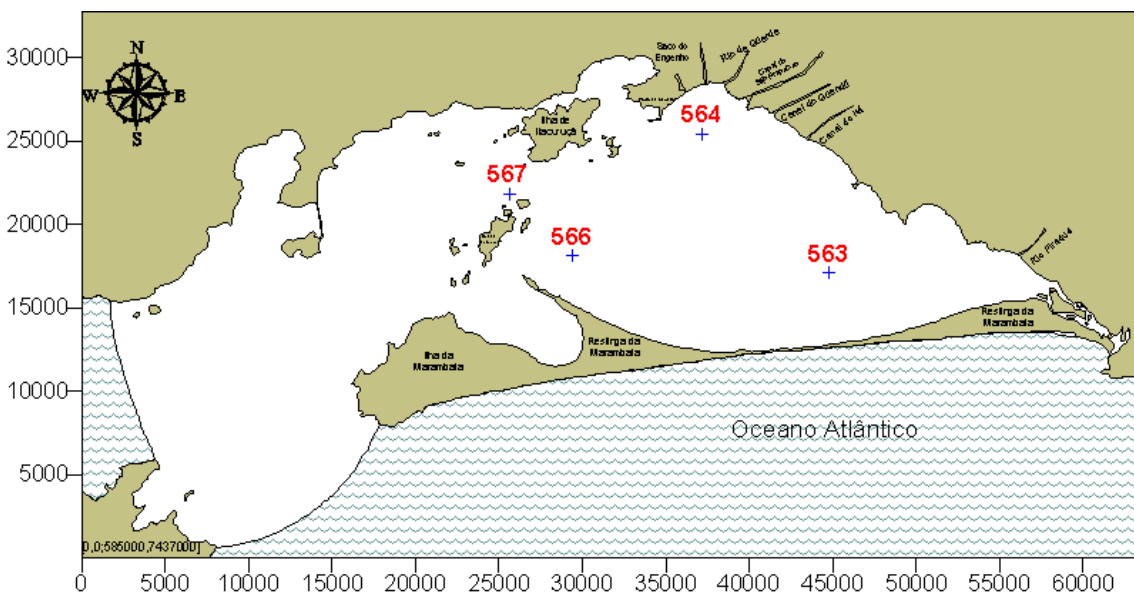


Figura 4 – Localização das estações de medição feitas pela FEEMA/GTZ, entre abril e maio de 1996.

Os gráficos mostrados na Figura 5 apresentam as séries temporais da velocidade de correntes promediadas na vertical, obtidas pelo SisBahia e os valores medidos pela FEEMA/GTZ, para as estações indicadas na Figura 4. A figura apresenta as componentes Este-Oeste (EW) das velocidades, que são as mais significativas na Baía de Sepetiba. Os resultados representam 4 dias, iniciando no dia 22/04/96 e findando no dia 26/04/96.

Observando a estação **563**, localizada na parte mais interna da Baía, onde as profundidades são menores, as correntes se apresentam muito fracas quando comparadas com as correntes geradas nos estreitamentos próximos às ilhas. O mesmo padrão se repete na estação **564**, que também se localiza na parte mais interna da Baía. Nas estações **566** e **567**, favorecidas pela redução da área e pela presença de um canal natural de maior profundidade, principalmente na estação **567**, as correntes são mais intensas.

Comparando os dados medidos e os resultados calculados pelo SisBahia, nota-se uma boa concordância de fase entre os resultados, para todas as estações. No que se refere a intensidade de

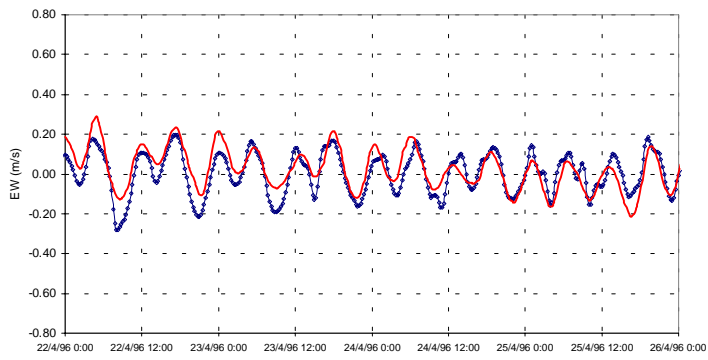


corrente, nas estações **563** e **564** há um abatimento nos valores obtidos pelo SisBahia em relação ao valores medido e, nas estações **566** e **567**, uma pequena amplificação.

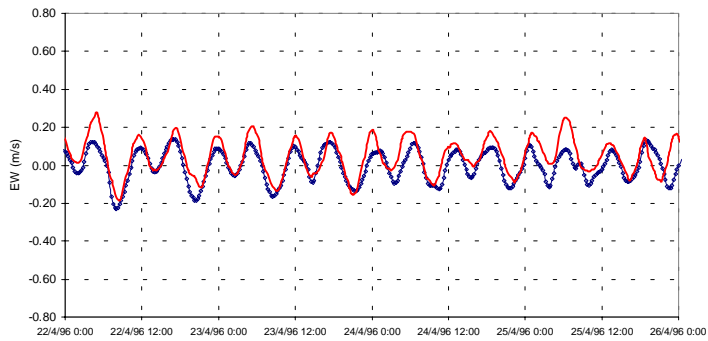
Observando a estação **567**, nota-se uma boa concordância na fase entre o dados de campo e resultados obtidos pelo modelo. A estação é localizada perto de uma ilha, onde a batimetria e a largura do canal principal são muito irregulares. Sendo assim, as velocidades de corrente apresentam-se bastante variáveis no espaço e uma pequena diferença de posição pode significar grande mudanças nos valores de velocidade. Para obter uma melhor aproximação com os dados de campo, seria necessário refinar a malha nesta região para obter a resolução necessária para a distribuição de velocidades. Pode-se afirmar que a malha da Baía de Sepetiba é por demais grosseira para capturar detalhes em pequenos canais.

Na estação **566**, as componentes EW das velocidades obtidas pelo SisBahia mostraram uma boa concordância com o dados medidos, especialmente para correntes mais fracas. Uma pequena diferença de fase pode ser observada em torno do dia 23/04/96.

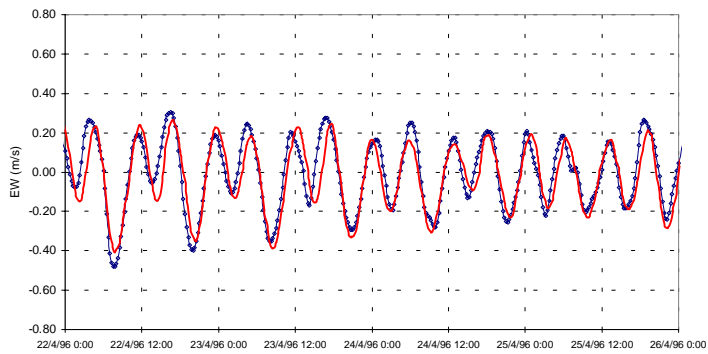
Comparando os resultados medidos com os valores calculados pelo Sisbahia e considerando que os dados disponíveis não eram suficientes para que houvesse uma validação dos resultados obtidos pelo SisBahia, pode-se afirmar que o modelo é capaz caracterizar, de maneira qualitativa, o padrão de circulação bidimensional da Baía de Sepetiba



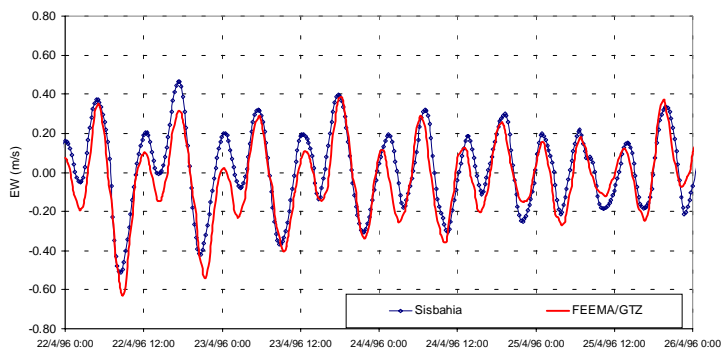
Estação 563



Estação 564



Estação 566



Estação 567

Figura 6 – Componente Este-Oeste (EW) das velocidades de corrente medidas nas estações **563, 564, 566 e 567** e obtidas numericamente pelo SisBahia.

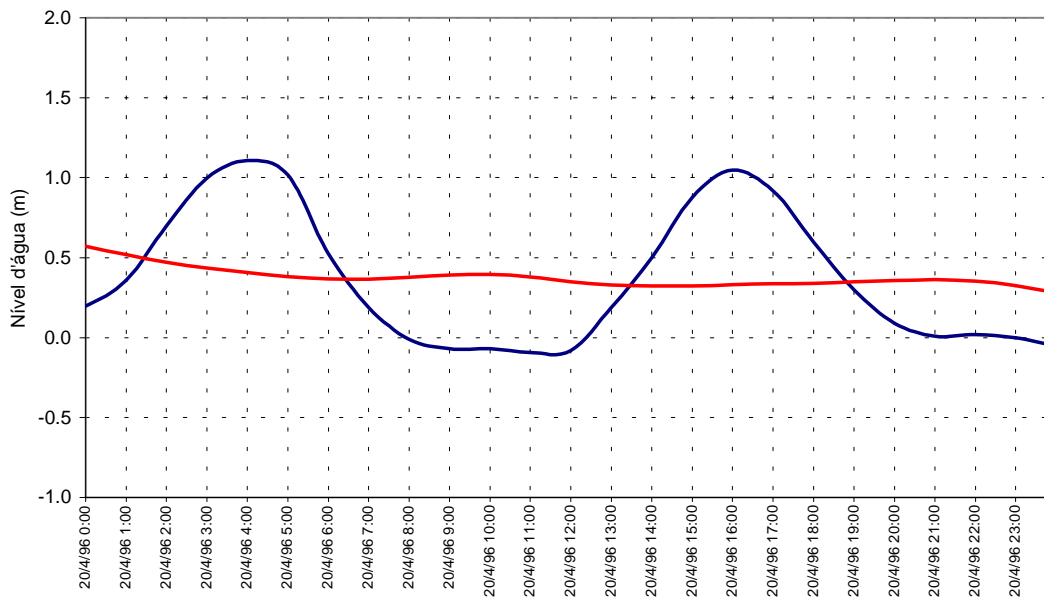


Figura 7 – Curva de maré utilizada na modelagem do *cenário 1*. O nível zero corresponde ao nível médio do mar na região. A diferença entre o zero e o nível médio diário é a maré meteorológica.

De modo a ilustrar o padrão espacial de correntes em diferentes situações de maré, mostra-se na Figura , a cada três horas, o padrão de correntes na região modelada correspondendo ao ciclo de maré de sizígia e maré meteorológica (*cenário 1*), que se inicia no instante de baixa-mar, às 10:00 do dia 20/04. Pode-se observar que os canais formados pela ilhas tendem a guiar o campo de correntes na direção paralela aos contornos, intensificando seus valores. Na enchente as correntes são mais fortes que na vazante, principalmente nas regiões estranguladas. Na porção leste da Baía as correntes são fracas, apresentando um comportamento bastante semelhante tanto na enchente quanto na vazante. Pode-se ainda observar que os campos de velocidade mostram uma forte relação com a batimetria local ( Oliveira et al, 1997)

A Figura 7 retrata o *cenário 2*, com condição de maré de quadratura e maré meteorológica, apenas no instante de meia maré vazante. Na Figura 8 é mostrado o *cenário 3*, em condição de maré de sizígia, no instante de meia-maré vazante. Comparando-se instantes semelhantes, ou seja, o instante de meia maré vazante para os três *cenários* definidos, pode-se observar que o aumento do nível médio, provocado pela entrada de frente fria, não altera o padrão de circulação hidrodinâmico, apenas intensifica os valores de velocidades.

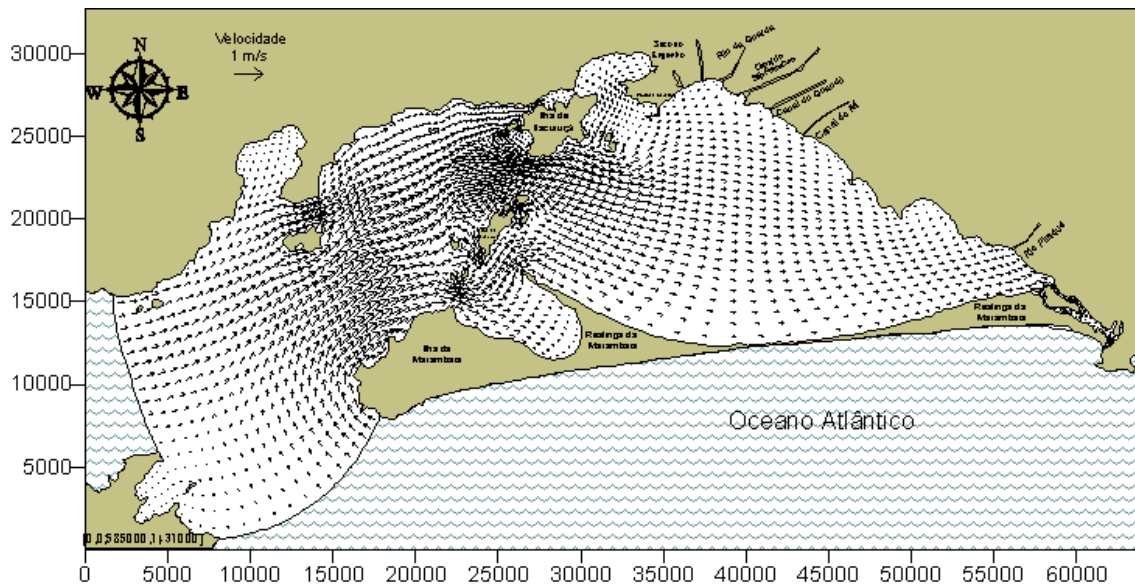
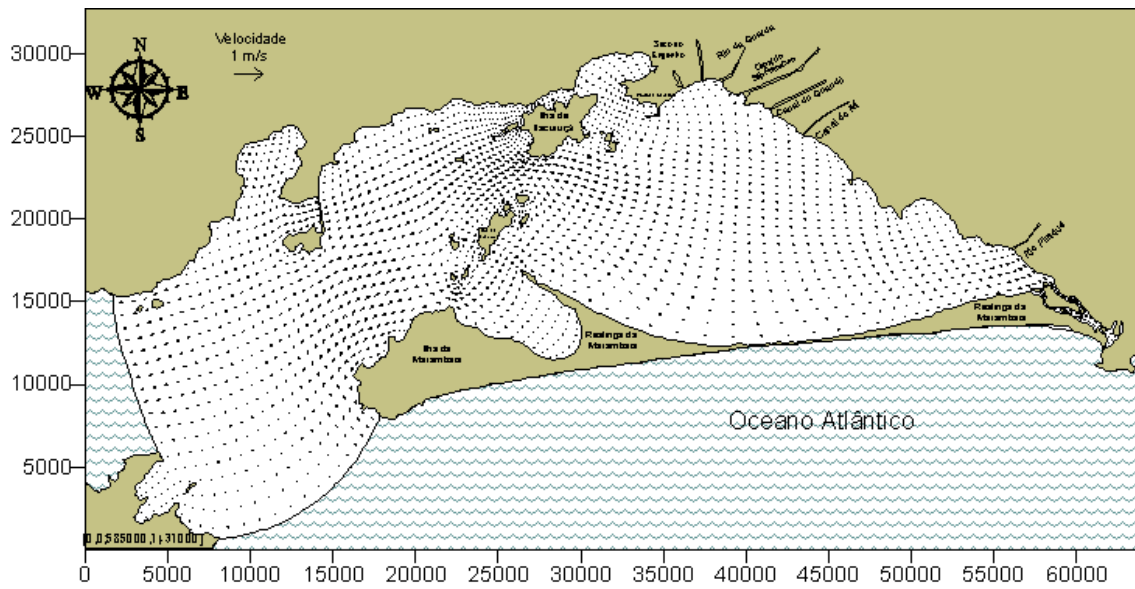


Figura 5 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de maré de sizígia e maré meteorológica – *Cenário 1*. Velocidades médias na vertical obtidas com o modelo SisBahia. Quadro acima em situação de baixa-mar e quadro abaixo em meia maré enchente, nos instantes 10:00 e 14:00 no dia 22/04/96.

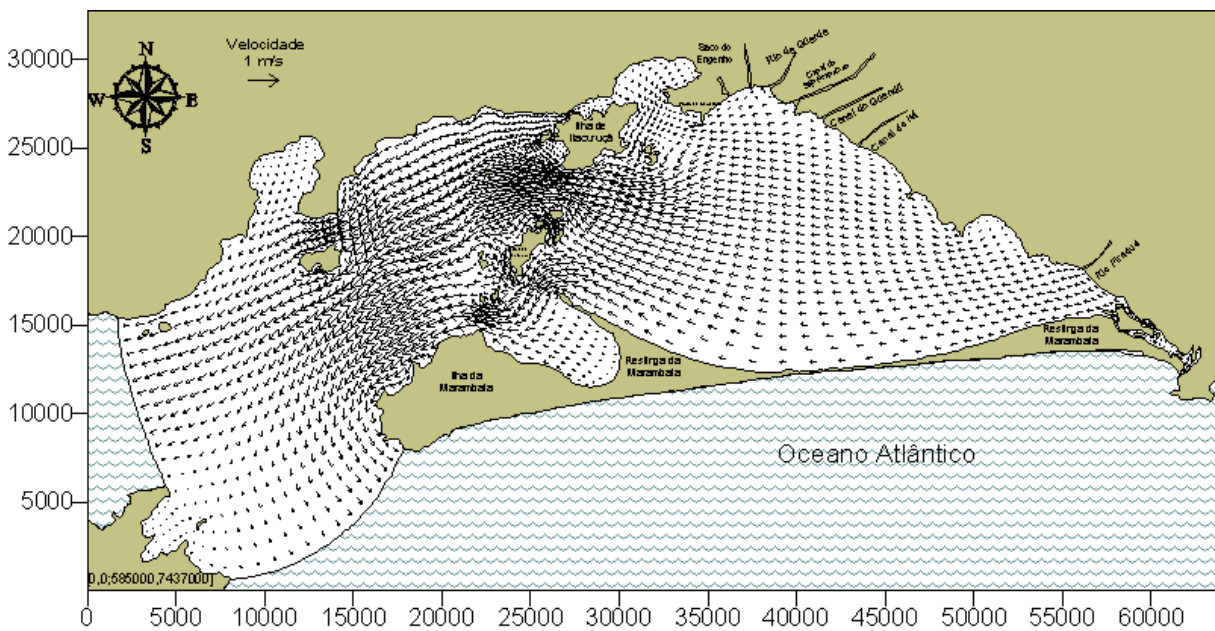
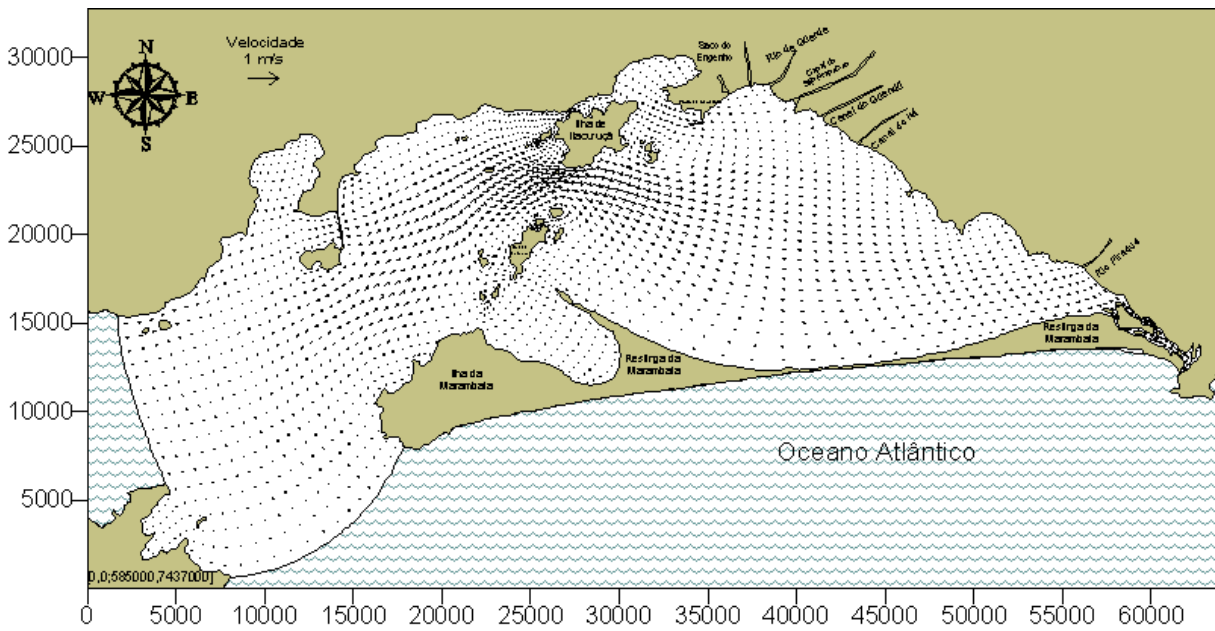


Figura 6 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de maré de sizígia e maré meteorológica – *Cenário 1*. Velocidades médias na vertical obtidas com o modelo Sisbahia. Quadro acima em situação de preamar e quadro abaixo em meia maré vazante, nos instantes 16:00 e 18:00 no dia 22/04/96.

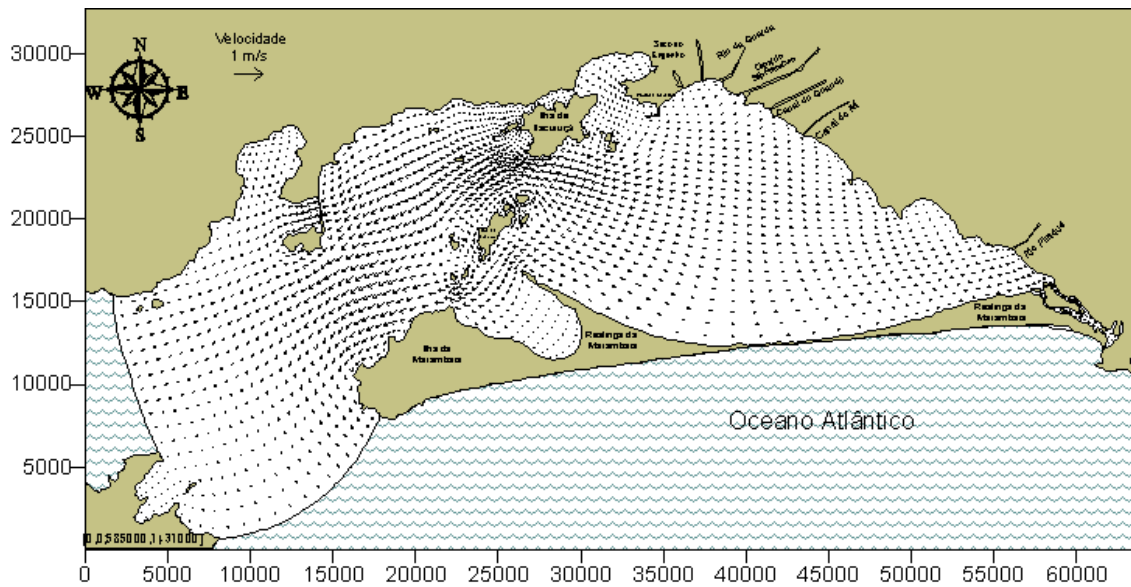


Figura 70 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de maré de quadratura e maré meteorológica em situação de meia maré vazante – *Cenário 2*. Velocidades médias na vertical obtidas com o modelo Sisbahia, no instante 04:00, no dia 27/04/96.

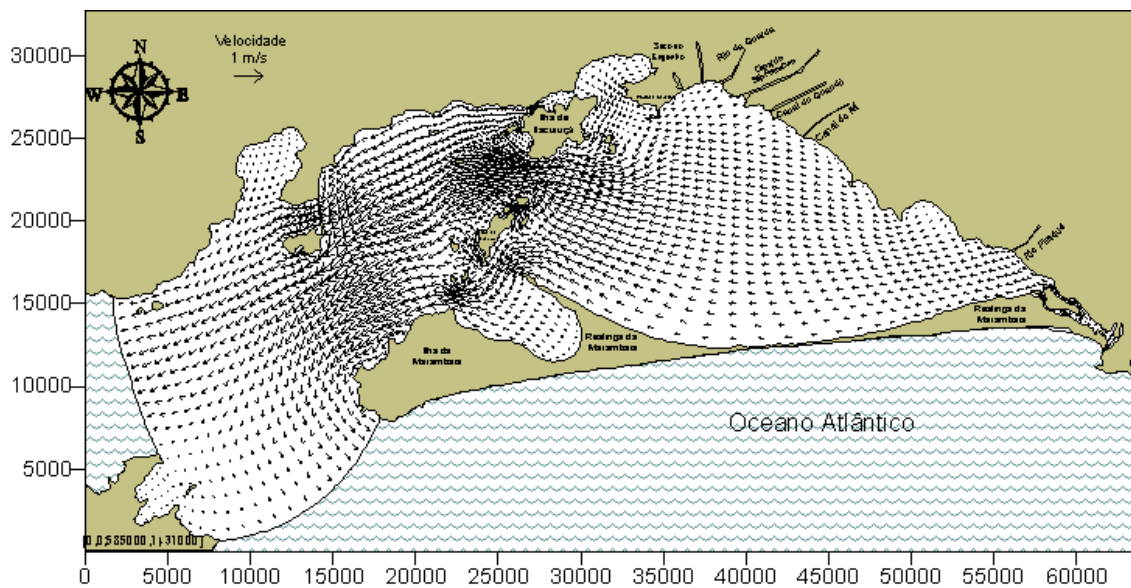


Figura 8 – Campo de correntes no domínio do modelo em situação de maré de sizígia em situação de meia maré vazante – *Cenário 3*. Velocidades médias na vertical obtidas com o modelo Sisbahia, no instante 06:00 no dia 05/05/96.

## CARACTERIZAÇÃO DA CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA BAÍA DE SEPETIBA – ESCOAMENTO RESIDUAL

Os campos de velocidades residuais foram definidos segundo a equação abaixo:

$$U_R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} (HU) dt}{\int_{t_0}^{t_0+T} H dt}, V_R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+T} (HV) dt}{\int_{t_0}^{t_0+T} H dt} \quad (1)$$

onde  $U_R$  e  $V_R$  são as componentes da velocidade residuais nas direções  $x$  e  $y$ ,  $U$  e  $V$  são as componentes da velocidade promediadas na direção vertical nas direções  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $H$  é a altura da coluna d'água,  $t_0$  o instante inicial e  $T$  o período. Na Baía de Sepetiba o período foi de 25 horas.

As velocidades residuais foram calculadas nos três *cenários*, ou seja, para diversas condições de maré, partindo de instante de baixa-mar ( $t_0$ ). Considerando um período de 25 horas foi possível incluir dois ciclos de maré completos na definição do escoamento residual.

Observando os campos de velocidades residuais mostrados nas Figura 9 até a Figura 11, verifica-se que as velocidades de residuais são extremamente baixas em todo o domínio da Baía de Sepetiba e não ultrapassam 0,08 m/s, exceto nas regiões próximas aos estuários de alguns rios, como de canal de São Francisco, onde as velocidades residuais são intensificadas pela vazão de 187,0 m<sup>3</sup>/s, podendo chegando a 0,16 m/s. No *cenário 2*, as velocidades são extremamente baixas, na ordem de 0,04 m/s na maior parte da Baía. Próximo ao canal de São Francisco atingem 0,10 m/s.

Observados os campos de velocidades residuais nas situações de maré de sizígia (Figura 9 e Figura 11), nota-se a presença de um grande vórtice próximo a Ilha de Itacuruçá. O mesmo vórtice pode ser observado no *cenário 2*, porém menos intensificado (Nguyen et al., 1997). Na porção central da Baía pode-se observar que o escoamento residual modelado é bastante complexo devido as irregularidade da topografia, formando pequenos vórtices nas regiões próximas as Ilhas, tanto em situações de maré de sizígia quanto de quadratura. O modelo também mostra que na porção oeste da Baía existe uma corrente residual que segue a batimetria formada pelo canal principal. Em geral, o campo de velocidades residuais segue as formas da batimetria do domínio.



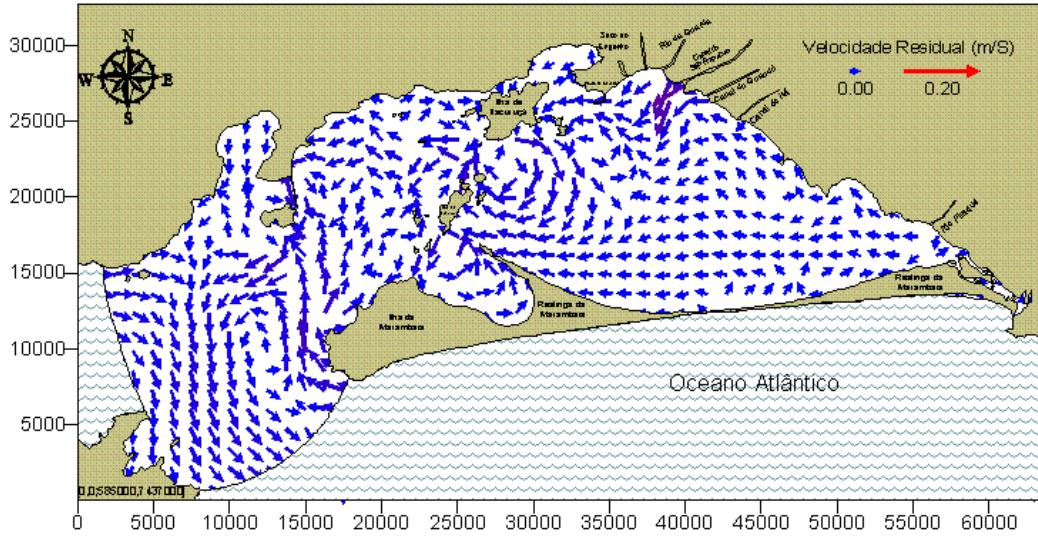


Figura 9 – Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 20/04/96, dentro do *cenário 1*.

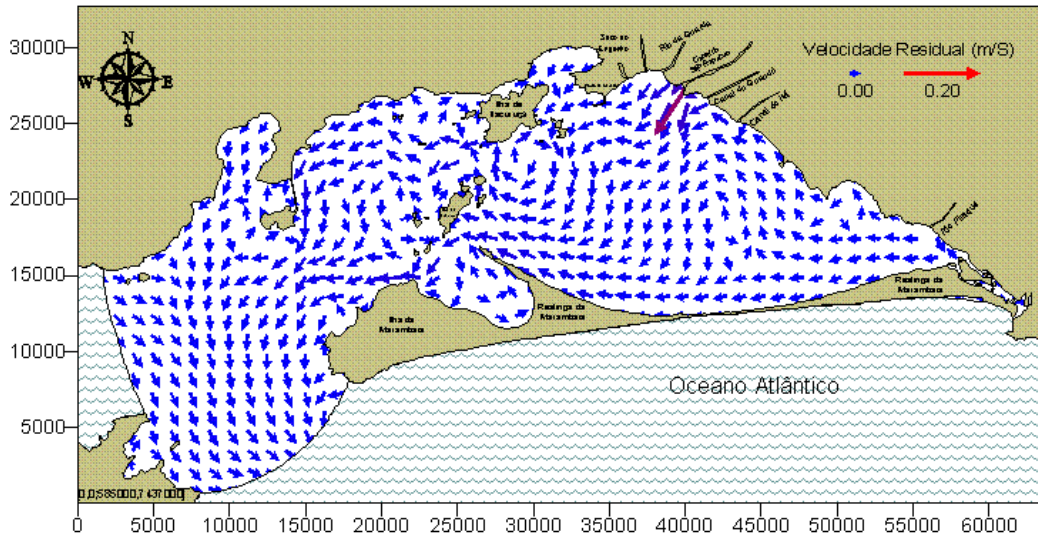


Figura 10 – Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 27/04/96, dentro do *cenário 2*.



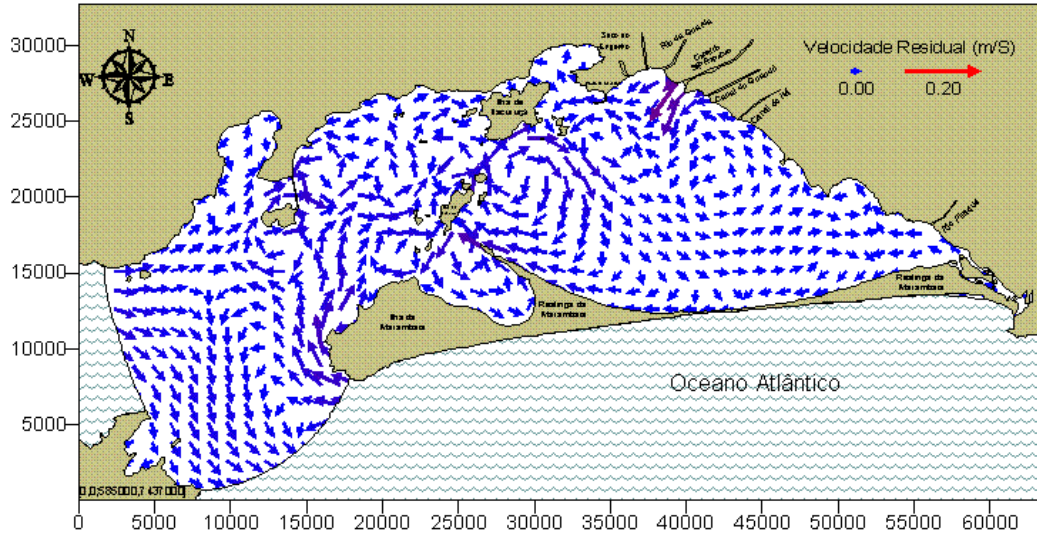


Figura 11 – Campo de correntes residual no domínio do modelo, considerando 24 horas, em 05/05/96, dentro do cenário 3.

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que a simulação numérica usada para caracterizar a circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba é adequada e pode ser usada de modo qualitativo. Os resultados obtidos, quando são comparados os valores do modelo e com os dados medidos de campo, mesmo considerando que o modelo não tenha sido calibrado, mostram que o sistema apresentado é capaz de responder aos objetivos deste trabalho.

Os resultados mostram que as velocidades máximas encontradas na Baía são da ordem de 1,0 m/s na porção oeste e que, na porção leste, não ultrapassam 0,25 m/s. Finalmente, o campo de velocidades residuais é caracterizado por velocidades extremamente baixas e pela presença de vórtices nas regiões vizinhas às ilhas.

## BIBLIOGRAFIA

- ABBOT, M. B. and BASCO, R. 1989, *Computational Fluid Mechanics, An Introduction for Engineering*, Longman Group, UK Limited.
- ALDAMA, A. A.: 1985, 'Theory and Applications of Two and Three-scale Filtering Approaches for Turbulent flow simulations', *Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology*.

- CUNHA, C. N E ROSMAN, P.C.C: 1997, *Mecanismo de Inundação em um Modelo Hidrodinâmico de Corpos D'água Rasos*. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH - Nov,1997.
- FEEMA: 1998, *Avaliação da qualidade da água da Bacia da Baía da Sepetiba – Outubro de 1995 a Julho de 1998* – Projeto de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha, FEEMA/GTZ.
- FISCHER, H. B. (Ed.): 1979, *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press Inc., New York.
- NGUYEN, K. D. and OUAHSINE, A.: 1997, *2D Numerical Study on Tidal Circulation in Strait of Dover*, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol 123, n0 01.
- OLIVEIRA, A., FORTUNATO, A. B. and BATISTS, A. M.: 2000, *Mass Balance in Eulerian-Lagrangian Transport Simulations in Estuaries*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol 126, n0 08.
- ROSMAN, P.C.C.: 1987, *Modeling Shallow Water Bodies via Filtering Techniques*, Ph.D. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- ROSMAN, P.C.C: 1997, Subsídios para modelagem de sistemas estuarinos, Capítulo 3 do livro *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos (Vol. 3)*, pp 231-343, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Brasil.
- ROSMAN, P.C.C.: 1998, *Modelagem Computacional de Circulação Hidrodinâmica e Transporte de Contaminantes na Baía de Sepetiba, RJ* – Relatório COPPETEC-ET-170334, 02/98. COPPE/UFRJ.
- ROSMAN, P. C. C.: 2000, *Referência Técnica do SISBAHIA – SISTEMA BASE DE HIDRODINÂMICA AMBIENTAL*, Programa COPPE: Engenharia Oceânica, Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica, Rio de Janeiro, Brasil.