

## MODELAGEM NÚMERICA OPERACIONAL DO NÍVEL DO MAR E CORRENTES PARA O ESTUÁRIO DE SANTOS

RIBEIRO<sup>1\*</sup>, R.B.; SAMPAIO<sup>1</sup>, A.F.P.; LEITÃO<sup>2</sup>, P.; LEITÃO<sup>2</sup>, J.; PUIA<sup>3</sup>, H.L.

<sup>1</sup>*Universidade Santa Cecília – Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas – NPH-UNISANTA  
Rua Oswaldo Cruz, 277 – Boqueirão, Santos – SP CEP 11045-907*

<sup>2</sup>*HIDROMOD Modelação em Engenharia  
Rua Rui Teles Palinha, 4, Piso 1 – Porto Salvo – Portugal CP 2740-278*

<sup>3</sup>*Praticagem de Santos  
Avenida Almirante Saldanha da Gama, 64 – Ponta da Praia, Santos – SP CEP 11030-400  
\*renanribeiro@unisanta.br*

### RESUMO

Atualmente a utilização de modelos operacionais que simulam a circulação nos oceanos, regiões costeiras e estuarinas está bastante difundida. Estes sistemas são importantes ferramentas para auxílio na tomada de decisão; no caso dos modelos de pequena escala podemos citar como exemplo a utilização para previsão das condições de navegabilidade em áreas portuárias. Nesse sentido, este trabalho apresenta a implantação de um modelo operacional para simular a hidrodinâmica na Baía e Estuário de Santos. Para tal, foram utilizadas um conjunto de quatro grades numéricas encaixadas, a última grade com resolução de 50m. Como condição de fronteira oceânica foi imposto o sinal de baixa frequência oriundo da maré meteorológica somado ao sinal de alta frequência. O modelo foi calibrado e mostrou boa correlação com dos dados coletados. Através da plataforma AQUASAFE, desde março de 2015 o modelo é executado de forma operacional e validado com dados coletados em tempo real, e os resultados são disseminados através desta mesma plataforma para três atores locais.

Palavras chave: nível do mar, correntes, modelo operacional, Estuário de Santos

### INTRODUÇÃO

A região do Estuário de Santos concentra diversos atores, o maior porto da América Latina, um grande complexo petroquímico, uma população superior a um milhão de habitantes, aproximadamente 10km de praias. Nesse contexto, o conhecimento da circulação hidrodinâmica nessa região torna-se relevante não só para pesquisas, mas também para auxílio na tomada de decisão dos principais atores locais.

Os modelos numéricos hidrodinâmicos vêm sendo aplicados no Estuário de Santos desde a década de 90. Entretanto, em sua grande maioria são estudos pontuais, com objetivos específicos e simulando condições passadas.

Atualmente, com o avanço da tecnologia e do conhecimento, os sistemas operacionais de previsão da circulação em meso e larga escala estão bastante difundidos. Com relação a estes sistemas, aplicados a regiões costeiras e estuarinas, alguns exemplos são os diversos OFS (*Operational Forecast System*) implementados pela NOAA (2015). Ainda assim, na literatura não há registros de modelos hidrodinâmicos operacionais com escala apropriada para simular a circulação na região da Baía e Estuário de Santos.

## OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo a implantação de um modelo operacional para simular a hidrodinâmica na região do Estuário de Santos, fornecendo assim resultados de previsão de elevação do nível do mar e correntes, considerando tanto a influência da maré astronômica, como também a influência da maré meteorológica.

## METODOLOGIA

Para a simulação da hidrodinâmica na região de estudo, foi selecionado o sistema de modelos MOHID - *Water Modelling System* ([www.mohid.com](http://www.mohid.com)), desenvolvido pelo Instituto Superior Técnico (IST), Lisboa – Portugal, com colaboração da HIDROMOD. Este modelo foi projetado para simular corpos d'água superficiais (MOHID Water), infiltração e fluxo em meios porosos (MOHID Soil) e bacias hidrográficas (MOHID Land). Seu código é baseado no conceito de volumes finitos, utilizando uma filosofia de programação orientada por objetos (BRAUNSCHWEIG *et al.*, 2004). Neste estudo foi utilizado apenas o MOHID Water.

Foi implementado um conjunto de quatro grades numéricas encaixadas (Figura 1) utilizando metodologia similar a Leitão *et al.* (2005). A primeira grade numérica, denominada Level 1, é um modelo 2D barotrópico, assim como as três grades subsequentes, a borda oceânica foi forçada com a maré astronômica variável no espaço, calculadas a partir das constantes harmônicas do modelo global de marés FES2012 (CARRÈRE, 2012). A segunda grade numérica é forçada, na borda oceânica, com as condições oriundas da grade Level 1 (alta frequência) somadas as condições de baixa frequência oriundas da solução MyOcean (LELLOUCHE & REGNIER, 2015). As condições geradas pela grade Level 2 são impostas na borda oceânica da grade Level 3 que por sua vez, fornece condições na fronteira oceânica para a última grade numérica, denominada Level 4. Como condição de contorno na superfície livre, para reprodução dos campos atmosféricos, foram utilizados os resultados oriundos do modelo atmosférico GFS disponibilizado pela NOAA.

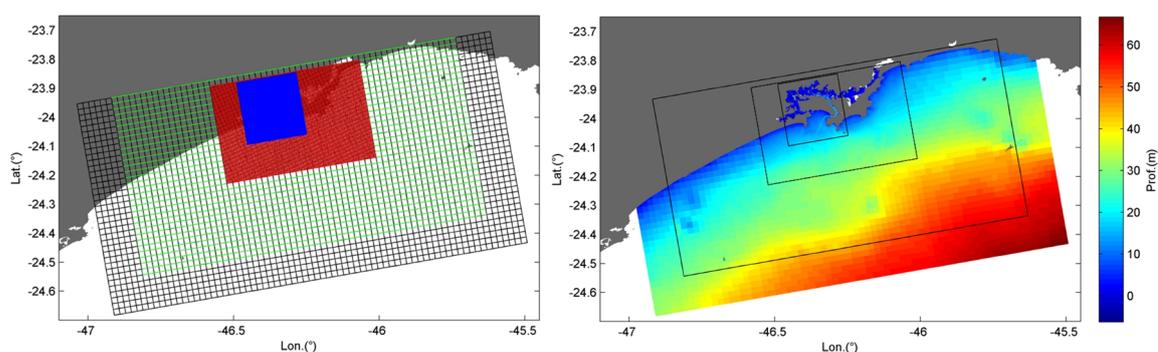


Figura 1. Grades numérica utilizadas (à esquerda) e respectivas batimetrias interpoladas nas grades numéricas (à direita), a escala de cores representa a profundidade em metros.

Com relação as características das grades numéricas utilizadas, a Level 1 tem resolução horizontal de  $0,02^\circ$  e  $37 \times 72$  pontos de cálculo, a Level 2 tem  $31 \times 61$  pontos e resolução de  $0,02^\circ$ , a Level 3 tem resolução de  $0,004^\circ$  e  $85 \times 130$  pontos, a última grade (Level 4) tem resolução de  $0,0005^\circ$  ( $\sim 50\text{m}$ ) com  $432 \times 416$  pontos de cálculo. A batimetria foi obtida através da digitalização das cartas náuticas da DHN N<sup>os</sup> 1.701, 1.711, 23.100 e 23.200, bem como de levantamentos recentes realizados pela Praticagem de Santos e do banco de dados do NPH-UNISANTA, todos esses dados foram interpolados nas grades numéricas (Figura 1).

A calibração foi feita a partir dos dados de nível do mar obtidos pela estação maregráfica Praticagem de Santos (046° 18'06,36''W, 23° 09'29,08''S), coletados e disponibilizados em tempo real pela mesma entidade. Foram realizadas simulações de dois meses, de novembro a dezembro de 2014. Após calibrado, todo o sistema é executado em modo operacional através da plataforma AQUASAFE ([www.aquasafeonline.net](http://www.aquasafeonline.net)), desenvolvida pela HIDROMOD. Esta plataforma efetua desde o *download* das informações utilizadas como forçantes e dos dados de maré e correntes coletados em tempo real, até a execução do modelo numérico, comparação com os resultados coletados e disseminação das informações.

## RESULTADOS

Para o período de calibração a grade Level 4 demonstrou uma correlação linear de 94,3% e um erro médio quadrático normalizado (NMRSE) de 5,97% entre os dados medidos e os resultados do modelo na estação da Praticagem (Figura 2). Além disso, foi possível observar que o modelo reproduziu os padrões de circulação evidenciados em trabalhos anteriores (HARARI & CAMARGO, 1998; HARARI *et al.*, 2006).

O modelo está operacional desde março de 2015 e fornece previsão de cinco dias, os resultados do modelo e dos dados coletados em tempo real podem ser visualizados através da plataforma (Figura 3). Além disso semanalmente há a emissão de um relatório de validação, comparando os resultados do modelo com: os dados coletados pelo marégrafo, por um sensor de pressão, e a previsão oriunda da tábua de marés da DHN, dos 15 dias anteriores. Como exemplo, para o período de 02 a 17 de agosto de 2015, o coeficiente de correlação linear entre os dados coletados pelo marégrafo e os resultados do modelo foi de 95,5% e o NMRSE de 7%.

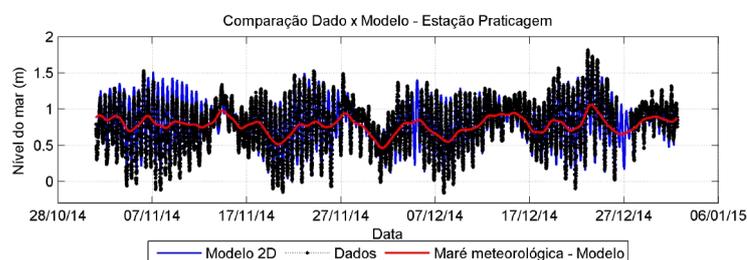


Figura 2. Comparação do nível do mar na estação Praticagem de Santos entre os resultados do modelo (bruto em azul, e a maré meteorológica em vermelho) e os dados coletados (em preto).

## CONCLUSÕES

O modelo numérico conseguiu reproduzir de maneira satisfatória os dados coletados e os padrões de circulação observados em trabalhos anteriores.

A plataforma AQUASAFE permitiu operacionalizar todos os processos envolvidos, desde o *download* dos dados necessários para as condições de fronteira, dos dados para validação do modelo e a disseminação dos resultados para três atores (Praticagem de Santos, Defesa Civil e SABESP).

Com relação aos melhoramentos a serem testados, pretende-se verificar a influência da utilização de campos atmosféricos com maior resolução espacial e temporal, bem como o uso de um modelo 3D baroclínico considerando as descargas dos principais rios da região. Além do modelo hidrodinâmico, a plataforma executa também um modelo operacional de agitação marítima, a ser validado futuramente. No que diz respeito a disseminação dos resultados, pretende-se elaborar um *website* para divulgação.

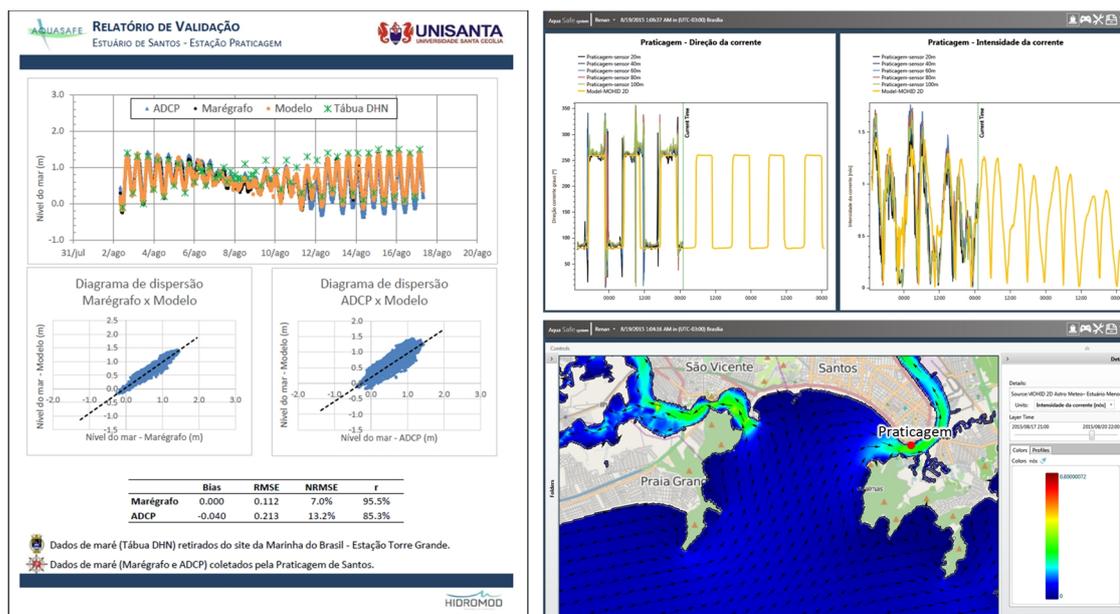


Figura 3. Relatório de validação emitido pela plataforma AQUASAFE, com a comparação do nível do mar na Praticagem de Santos (à esquerda). Exemplos de visualização dos resultados na plataforma: comparação da velocidade e direção das correntes (superior à direita); e resultados do modelo para velocidade e direção das correntes, com indicação da localização da estação (inferior à direita).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAUNSCHWEIG, F.; CHAMBEL, P.; FERNANDES, L.; PINA, P. & NEVES, R. 2004. The object-oriented design of the integrated modelling system MOHID. *Computational Methods in Water Resources International Conference*, Chapel Hill, North Carolina, USA.

CARRÈRE, L.; LYARD, F.; CANCELET, M.; GUILLOT, A.; ROBLOU, L. 2012. FES2012: A new global tidal model taking advantage of nearly 20 years of altimetry, *Proceedings of meeting "20 Years of Altimetry"*, Venice.

HARARI, J. & CAMARGO, R. 1998. Modelagem numérica da região costeira de Santos (SP): circulação de maré. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 46(2), 135-156.

HARARI, J.; CAMARGO, R.; FRANÇA, C. A. S.; MESQUITA, A. R. & PICARELLI, S. S. 2006. Numerical Modeling of the Hydrodynamics in the Coastal Area of Sao Paulo State Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39:1560-1563.

LEITÃO, P.; COELHO, H.; SANTOS, A.; & NEVES, R. 2005. Modelling the main features of the Algarve coastal circulation during July 2004: A downscaling approach. *Journal of Atmospheric & Ocean Science*. 10(4): 421-462.

LELLOUCHE, J.M. & REGNIER, C. 2015. GLOBAL Ocean Sea Physical Analysis and Forecasting Products. Product User Manual. Disponível em <http://marine.copernicus.eu/>, acessado em 18/ago/2015.

NOAA (National Ocean and Atmospheric Administration). 2015. Disponível em <http://tidesandcurrents.noaa.gov/models>, acessado em 18/ago/2015