

## USO DE TÉCNICAS DE MODELAGEM PARA AVALIAR O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ

Cynara L. N. CUNHA<sup>1</sup>; Ada C. SCUDELARI<sup>2</sup>; Paulo C. C. ROSMAN<sup>3</sup>

### RESUMO

Sistemas estuarinos, compostos por baías, enseadas e deltas, são regiões de grande mistura, com comportamento dinâmico e complexo. O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado no estado do Paraná, na região sul do Brasil, e possui dois eixos principais: um de orientação leste-oeste, formado pelas baías de Antonina e de Paranaguá, onde estão localizados os portos de Paranaguá e Ponta do Félix, e outro eixo de orientação norte-sul, constituído pela Baía das Laranjeiras, Guaraqueçaba e Pinheiros. A pesca e a aquicultura são atividades comuns da região. No eixo leste-oeste do CEP, a manutenção dos canais de navegação que acessam os portos, por meio das operações de dragagens, constitui uma atividade onerosa e impactante para o meio ambiente. Assim, com o objetivo de estudar o transporte de sedimentos e as suas implicações na dinâmica do CEP, e principalmente, determinar a zona de máxima turbidez, diferentes modelos do SisBAHIA<sup>®</sup> foram implementados. O SisBAHIA<sup>®</sup> – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental é um sistema para a modelagem ambiental constituído de vários modelos; nestra trabalho são usados os modelos de Circulação Hidrodinâmica e de Transporte de Lagrangeano. O objetivo é caracterizar e identificar potenciais áreas de deposição e erosão de sedimentos no CEP. Os resultados obtidos podem ser analisados e considerados de forma qualitativa, e mostram que as plumas do material particulado em suspensão (MPS) de origem fluvial não se misturaram de forma significativa e que a zona de máxima turbidez se forma na região mais rasa do CEP, a partir da foz do rio Nhundiaquara, se estendendo até a cidade de Paranaguá.

---

<sup>1</sup> Doutora e Professora Associada; Departamento de Engenharia Ambiental - UFPR, Rua Francisco Rocha, 495, 206B 82420-130, Curitiba, Brasil; cynara@ufpr.br; Telefone: +5541 3320-2027.

<sup>2</sup> Doutora e Professora Titular; Departamento de Engenharia Civil – UFRN; Campus Lagoa Nova 59078-970 Natal, Brasil; ada@ct.ufrn.br; Telefone +55 84 33422518

<sup>3</sup> Doutor e Professor Titular; Programa de Engenharia Costeira e Oceanográfica da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil; pccr@coppe.ufrj.br; Telefone +55 21 2652 8747

**Palavras-chave:** SisBAHIA<sup>®</sup>; complexo estuarino de Paranaguá; transporte de sedimentos; zona de máxima turbidez.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas estuarinos são regiões de grande mistura, com comportamento dinâmico e complexo. Estas regiões vêm sendo ocupadas ao longo do tempo e o alto grau de urbanização e industrialização provocam diversos efeitos negativos, como a perda da qualidade dos habitats, e dada a sua grande importância ecológica, podem influenciar negativamente todo o ecossistema marinho. O papel de filtragem dos estuários, através de uma grande variedade de processos físicos e biogeoquímicos, torna-os áreas de transição cruciais quando do aprisionamento de quantidades significativas de partículas e material dissolvido. Modelos que estudem o transporte de sedimentos, em suspensão ou no fundo, têm sido usados como ferramenta para tomada de decisões estratégicas no que se refere à determinação de locais de maior ou menor capacidade de sedimentação/erosão. A avaliação dos efeitos do transporte do material particulado em suspensão oriundos dos rios pode ser feita com uso de modelos computacionais de transporte Lagrangeanos, sendo que a simulação do padrão de circulação hidrodinâmico é essencial na estrutura computacional deste modelo.

Os padrões de circulação de uma região estuarina são influenciados pela vazão fluvial, pela ação dos ventos e da maré, e ainda pelos gradientes de salinidade, formados pela mistura entre a água doce, proveniente do continente, com a água salgada do oceano, e pelas características geomorfológicas dos estuários (Dyer, 1995). A partir da identificação dos padrões de circulação é possível definir a zona de máxima turbidez (ZMT), local onde os sedimentos provenientes dos rios ficam retidos, até a sua deposição final. E ainda, nesta região que os poluentes lançados nas regiões estuarinas apresentam maior concentração, considerando que estarão dissolvidos ou agregados aos sedimentos em suspensão. Sendo assim, a determinação desta zona é fundamental para garantir um gerenciamento ambiental adequado das regiões estuarinas, principalmente quando do lançamento de efluentes domésticos ou industriais.

Nesse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento da modelagem do transporte do material particulado em suspensão usando o SisBAHIA<sup>®</sup> nas baías de Paranaguá e Antonina, com o intuito de avaliar a formação da zona de máxima turbidez. O SisBAHIA<sup>®</sup> - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental é capaz de realizar modelagem ambiental de corpos de água e é constituído por um conjunto de modelos: de Circulação Hidrodinâmica para corpos de água rasos, de transporte Euleriano Advectivo-Difusivo, de Qualidade de Água e Eutrofização e de transporte Lagrangeano Advectivo-Difusivo.

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), situado no Estado do Paraná, possui área total de aproximadamente 612 Km<sup>2</sup>. Uma grande diversidade de ambientes integra o CEP, cuja circulação é forçada principalmente pelas marés (Mantovanelli, 1999). O CEP recebe a drenagem de aproximadamente 70% da área da bacia hidrográfica litorânea do estado do Paraná (Bacia Atlântica). Especificamente para as baías de Antonina e Paranaguá é drenada água doce de uma área de 2188 km<sup>2</sup>, equivalente a 54% da área de drenagem do

complexo. (Mantovanelli, 1999). Segundo Mantovanelli (1999) e Noernberg (2001), a ZMT na baía de Paranaguá migra longitudinalmente durante o ciclo de maré semi-diurna, típico deste estuário, possuindo um papel importante no que se refere às condições de dispersão de poluentes lançados na baía.

## 2. OBJETIVOS

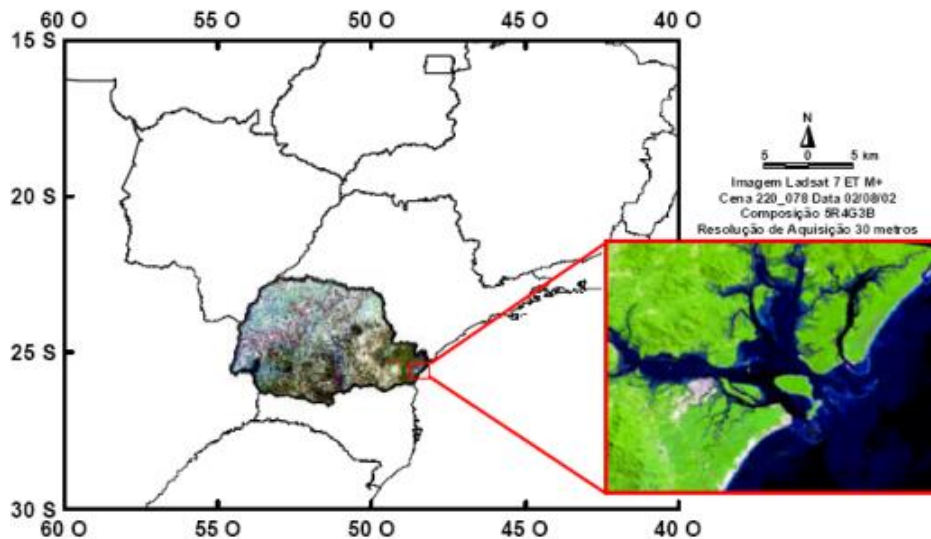
O objetivo principal deste artigo é estudar o transporte de sedimentos e as suas implicações na dinâmica no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), e assim, determinar a zona de máxima turbidez, a partir da definição dos padrões de circulação residual e do transporte do material particulado em suspensão oriundos dos rios, usando o sistema de modelagem SisBAHIA<sup>®</sup>.

## 3. METODOLOGIA

O CEP está localizado no estado do Paraná, na região sul do Brasil, na longitude 48<sup>o</sup>23' W e na latitude 25<sup>o</sup>23' S e possui dois eixos principais: um de orientação leste-oeste, formado pelas baías de Antonina e de Paranaguá, e outro eixo de orientação norte-sul, constituído pela Baía das Laranjeiras, Guaraqueçaba e Pinheiros. No eixo leste-oeste do CEP, a manutenção dos canais de navegação que acessam os portos, por meio das operações de dragagens, constitui uma atividade onerosa e impactante para o meio ambiente.

Neste estudo é dada ênfase as baías de Paranaguá e Antonina, devido à presença dos principais rios e dos portos de Paranaguá e Ponta do Félix. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo. Entre as baías de Paranaguá e Antonina encontra-se uma zona com elevadas concentrações de material em suspensão, caracterizando a zona de máxima turbidez (ZMT); esta região é fortemente influenciada pela advecção horizontal e pela capacidade de deposição e ressuspensão do sedimento presente na coluna d'água (Noernberg, 2001). Neste contexto, a correta caracterização da circulação hidrodinâmica no CEP, e em especial das baías de Paranaguá e Antonina, é essencial para o estudo de transporte e dispersão de contaminantes e do material particulado em suspensão.

Como as profundidades locais são pequenas, e os padrões de estratificação 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 do CEP, necessária para a definição do escoamento residual e para o transporte de sedimentos em suspensão, foi usado um modelo hidrodinâmico bidimensional em planta.



**Figura 1.** Localização do Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil.

Os modelos utilizados fazem parte do SisBAHIA<sup>®</sup>, desenvolvido pela Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ. Para maiores informações sobre o SisBAHIA<sup>®</sup> o leitor deve repostar-se a [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br).

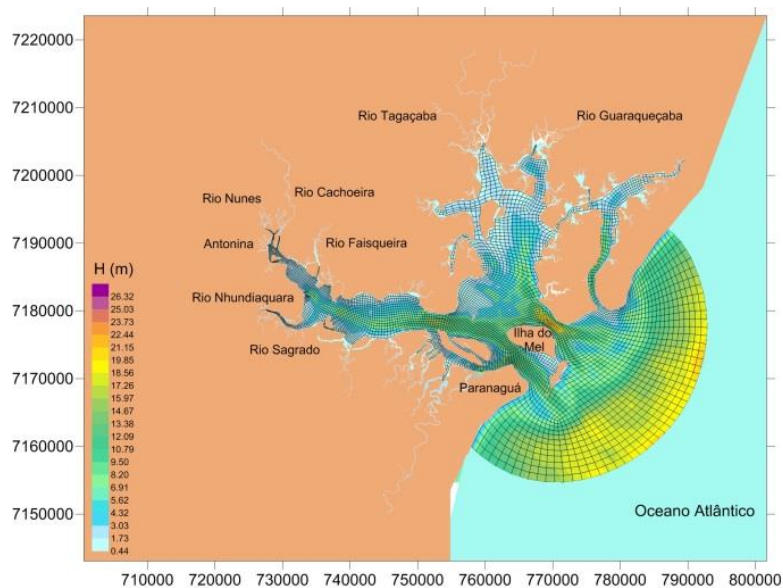
O CEP é um corpo de águas salinas e salobras, comunicando-se com o Oceano Atlântico através de duas passagens: uma na parte sul e outra ao norte, menor. Considerando que o interesse do estudo é a caracterização da circulação hidrodinâmica dentro do CEP, o domínio definido para o estudo compreende todas as baías. Desta forma é possível estudar a circulação ao longo das baías de Paranaguá e Antonina considerando as influências das regiões vizinhas sobre a sua circulação. As baías de Antonina e Paranaguá possuem uma área de aproximadamente 260,0 km<sup>2</sup>, com extensão longitudinal de 50 km (Knoppers *et al.*, 1987) e recebem aporte dos rios Cachoeira, Faisqueira, Nhundiaquara, Nunes e Sagrado.

O domínio definido na modelagem é mostrado na Figura , onde também pode ser observada a malha de elementos finitos quadráticos usada na discretização do domínio. A batimetria do CEP também é apresentada na Figura 2 e foi obtida a partir das cartas náuticas da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) no 1820,1821 e 1822, e de dados obtidos no banco de dados da empresa EnvEx Engenharia e Consultoria Ambiental.

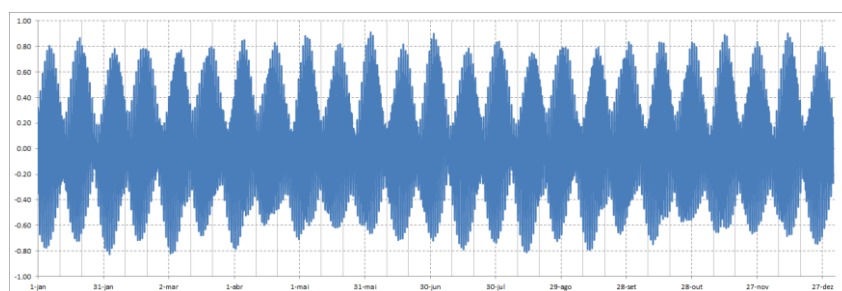
Na simulação do padrão de circulação hidrodinâmico foi considerada a maré astronômica obtida a partir de 11 constantes harmônicas (Marone e Jamiyanna, 1997) e utilizadas como condição de contorno. Na Figura 3 é mostrada a curva de maré prevista para o ano de 2011. Analisando a curva de maré prevista, é possível observar um comportamento semelhante ao longo do ano, com os ciclos de sizígia e quadratura, com uma modulação típica da região. Sendo assim, foi escolhido um intervalo de 16 dias, entre 01/07/2011 a 17/07/2011, que caracteriza um ciclo de maré de sizígia e quadratura (Figura 4). A principal constante harmônica (S2) tem amplitude de 0,4910 m e período de 44714,16 segundos, que corresponde a 12,42h. E ainda, segundo Zem *et al.*, 2007, os tempos de duração dos ciclos de maré medidos 2006 variam entre 11,38h, no verão, e 12,13h, no inverno. O intervalo de

16 dias corresponde aproximadamente 30 ciclos se apenas a componente S2 for computada, ou 32 ciclos para os valores observados por Zem et al., 2007.

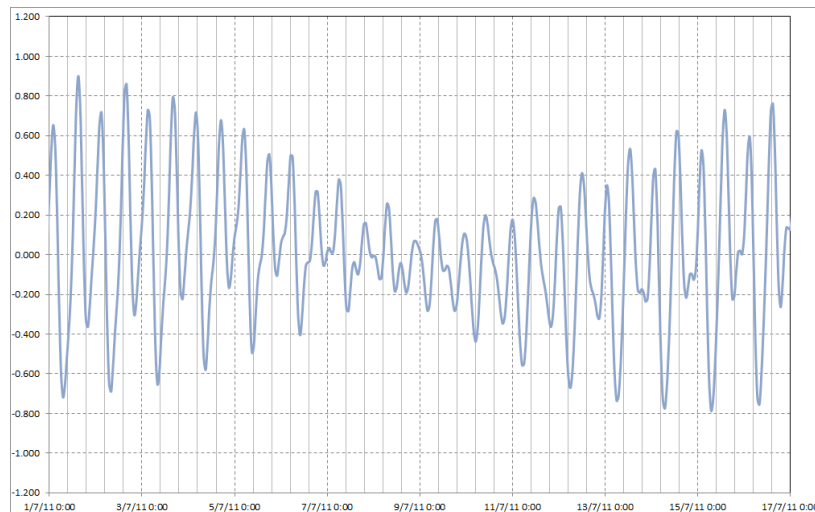
Os dados de vento utilizados foram medidos na ilha do mel, na região de CEP. Considerou-se o campo de vento uniforme no espaço, mas variando ao longo do tempo, com valores definidos a cada hora. As médias anuais de vazão foram consideradas para os seis principais rios afluentes: Nhundiaquara: 37,72 m<sup>3</sup>/s; Nunes: 6,91 m<sup>3</sup>/s, Sagrado: 3,77 m<sup>3</sup>/s; Cachoeira: 42,41 m<sup>3</sup>/s, Faisqueira: 10,47 m<sup>3</sup>/s, Tagaçaba: 7,25 m<sup>3</sup>/s e Guaraqueçaba: 6,23 m<sup>3</sup>/s. A localização dos rios pode ser observada na Figura 2.



**Figura 2.** Domínio de modelagem para o CEP, mostrando a malha com 1606 elementos finitos e 7216 nós e a visualização da topografia de fundo do domínio de modelagem.



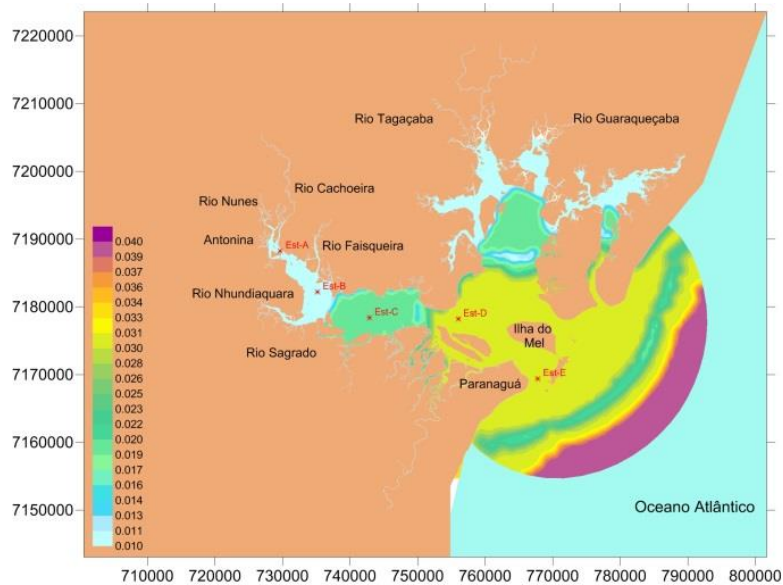
**Figura 3.** Curva de maré prevista para o ano de 2011, obtida a partir das 11 constantes harmônicas definidas por Marone e Jamiyanna (1997).



**Figura 4.** Curva de maré prevista utilizada, entre 01/07/2011 e 17/07/2011, obtida a partir das 11 constantes harmônicas definidas por Marone e Jamiyanna (1997).

A simulação do transporte do material particulado em suspensão foi realizada usando o modelo de transporte Lagrangeano do SisBAHIA<sup>®</sup>; este modelo permitiu a determinação de tendências de deriva de sedimentos, substâncias dissolvidas ou particuladas flutuantes e a determinação de correntes residuais Lagrangeanas. O uso do modelo de transporte deve ser acoplado ao modelo de circulação hidrodinâmica, que usa a mesma malha de discretização e interpola espacial e temporalmente o campo de velocidades obtido pelo modelo de circulação hidrodinâmica. A simulação do transporte do material particulado em suspensão foi realizada para um período de 384 dias, considerando 24 ciclos de 16 dias; para cada ciclo de 16 dias foi obtido os padrões de circulação usando modelo de circulação hidrodinâmica bidimensional. Foram considerados como fontes do material particulado em suspensão, os rios afluentes ao CEP. Montovanelli (1999) realizou levantamentos no inverno de 1997 e no verão de 1998, da concentração do material particulado em suspensão (MPS) nos rios; as médias das concentrações foram adotadas neste trabalho: Nhundiaquara: 6,905 mg/L; Nunes: 0,07 mg/L, Sagrado: 22,805 mg/L; Cachoeira: 15,58 mg/L, Faisqueira: 12,61 mg/L, Tagaçaba: 2,01 mg/L e Guaraqueçaba: 2,01 mg/L.

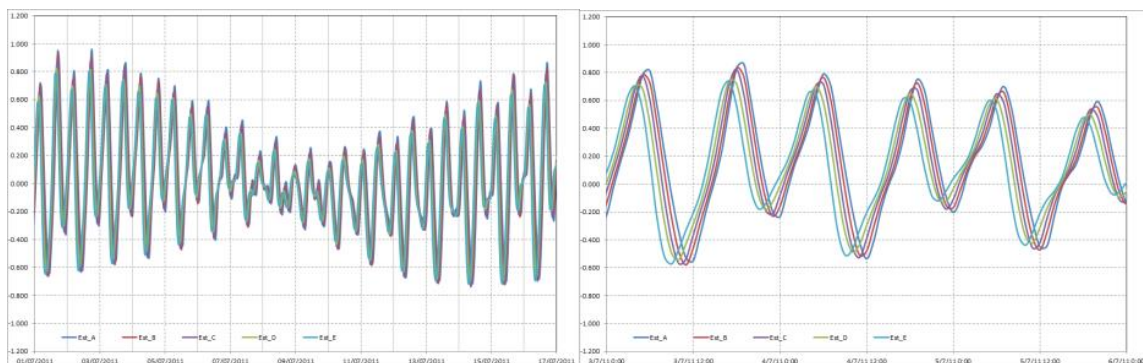
O coeficiente de atrito do fundo pode ser calculado via coeficiente de Chèzy. Este coeficiente depende da amplitude da rugosidade equivalente de fundo, definida a partir da composição e da distribuição de sedimentos no fundo. A Figura 5 mostra a distribuição espacial da amplitude da rugosidade de fundo no domínio de modelagem (Cunha *et al.*, 2011).



**Figura 5.** Visualização da topografia de fundo do domínio de modelagem e a localização das estações onde os resultados do modelo são apresentados.

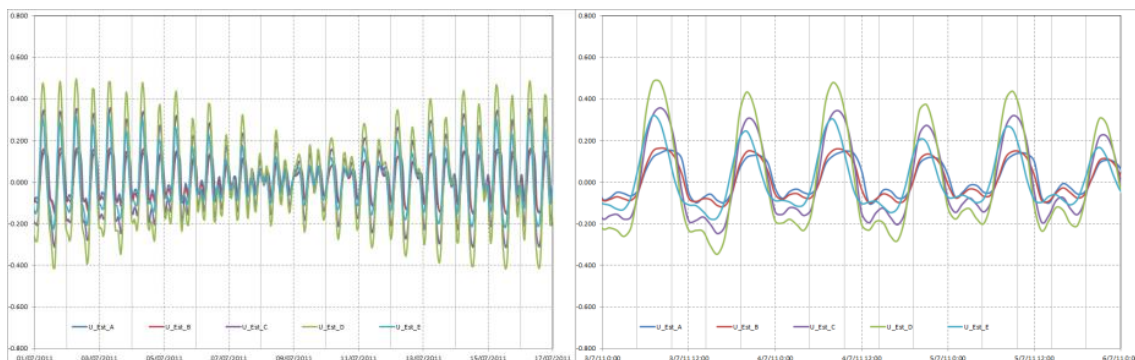
#### 4. RESULTADOS

Os resultados da modelagem da circulação hidrodinâmica do CEP e do transporte do material particulado em suspensão devem ser considerados qualitativamente, visto que não foi possível fazer a calibração e validação dos modelos dentro do intervalo de tempo simulado. É possível observar que as componentes de maré sofrem uma significativa amplificação das suas componentes à medida que se vai para o interior da baía de Antonina. A Figura 6 mostra os resultados da elevação da superfície livre obtidos pelo SisBAHIA<sup>®</sup> em cinco estações dentro do CEP, confirmando a amplificação e o atraso da onda de maré; no detalhe é possível observar que a diferença de fase entre Est\_E e Est\_A é de aproximadamente 2 horas.

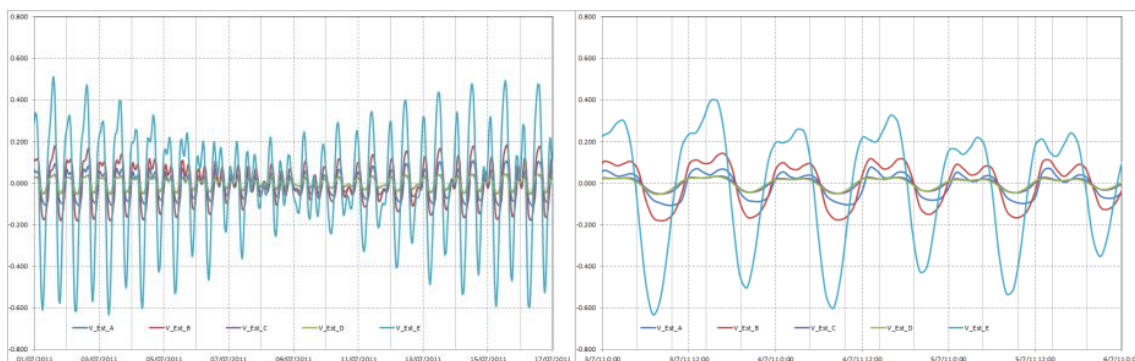


**Figura 6.** Elevação da superfície livre (m) obtidas pelo SisBAHIA<sup>®</sup> nas estações Est\_A, Est\_B, Est\_C, Est\_D e Est\_E, para o todo período simulado (direita) e em detalhe entre 03/07/2011 e 06/07/2011 (esquerda).

As Figuras 7 e 8 mostram as componentes Este-Oeste e Norte-Sul das velocidades de corrente obtidas pelo SisBAHIA<sup>®</sup> nas cinco estações. Nas estações mais internas (Est\_A e Est\_B), as componentes Este-Oeste são mais significativas, indicando uma tendência de vazante, com velocidades positivas maiores, com relativa influencia das vazões fluviais. As estações Est\_C e Est\_D apresentam valores das componentes de velocidades Este-Oeste elevados, ainda indicando uma tendência de vazante. A estação Est\_E, localizada na região próxima a embocadura do CEP, mostra componentes de velocidades Norte-Sul maiores, mantendo a tendência de vazante do complexo.



**Figura 7.** Componente Este-Oeste das velocidades de corrente (m/s) obtidas pelo SisBAHIA<sup>®</sup> nas estações Est\_A, Est\_B, Est\_C, Est\_D e Est\_E, para o todo período simulado (direita) e em detalhe entre 03/07/2011 e 06/07/2011 (esquerda).



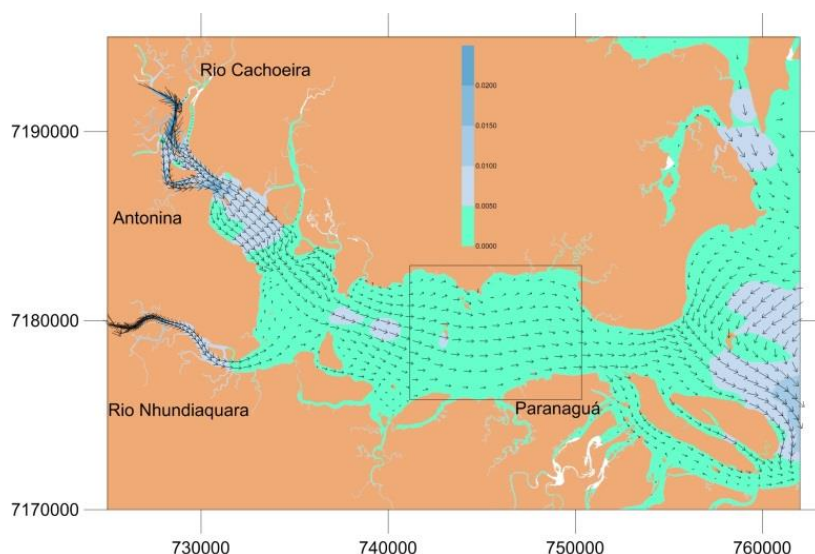
**Figura 8.** Componente Norte-Sul das velocidades de corrente (m/s) obtidas pelo SisBAHIA<sup>®</sup> nas estações Est\_A, Est\_B, Est\_C, Est\_D e Est\_E.

O campo de velocidades residuais Lagrangeanos foi calculado para o período simulado, considerando 16 dias, entre 01/07/2011 e 17/07/2011. A Figura 9 mostra o resultado obtido, com destaque para a zona de máxima turbidez (ZMT). Observando o campo de velocidades residuais, verifica-se que as velocidades residuais são extremamente baixas na região



próxima ao porto de Paranaguá e não ultrapassam 0,005 m/s, exceto nas regiões próximas aos estuários dos rios, onde as velocidades residuais são maiores.

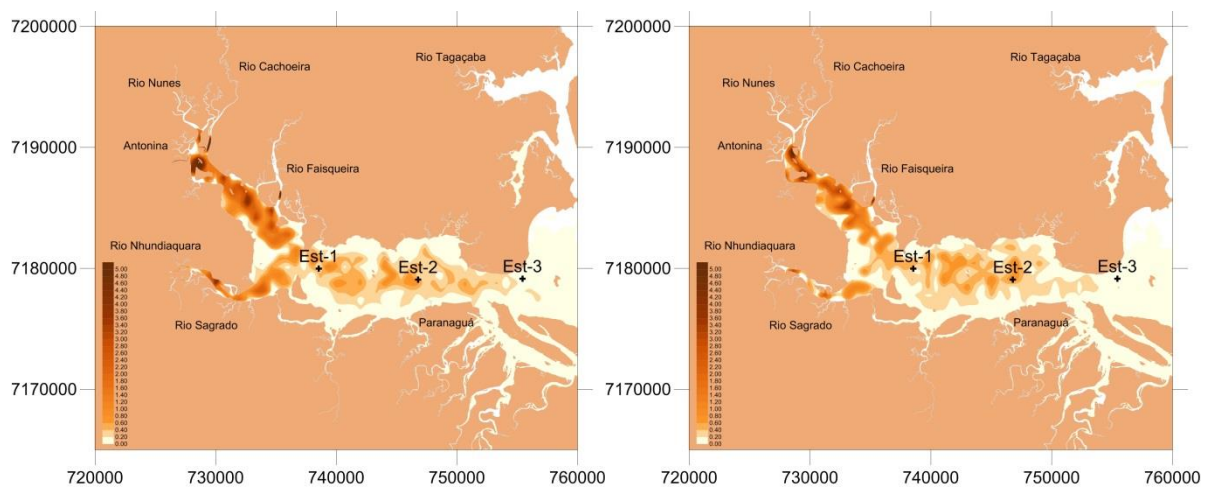
Norenberg (2001) definiu a localização da ZMT entre as Ilhas Gererês e o Porto de Paranaguá. Esta região apresenta um escoamento residual de maré vazante, com valores inferiores a 0,005 m/s. Nesta região deve acontecer a deposição temporária dos sedimentos finos provenientes principalmente do rio Nhundiaquara e em menor quantidade, do rio Cachoeira.



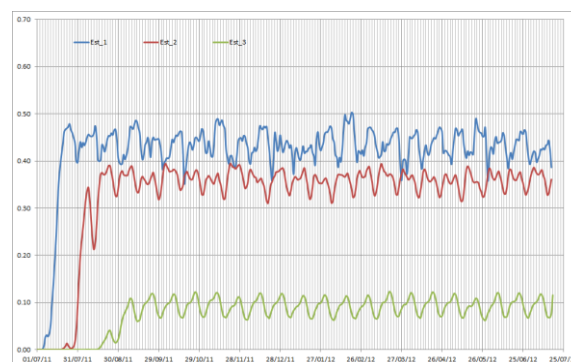
**Figura 9.** Campo de correntes residual, em m/s, obtido numericamente pelo SisBAHIA<sup>®</sup>, considerando 16 dias, entre 01/07/2011 e 17/07/2011, com destaque para a zona de máxima turbidez (ZMT).

A Figura 10 mostra os valores de concentração de material particulado em suspensão na zona de máxima turbidez, em dois instantes: o primeiro depois de 332 dias do início da simulação (26/05/2012) e o segundo ao final da simulação, depois de 384 dias (16/07/2012). Os valores de concentrações obtidos pelo modelo não correspondem aos valores reais, visto que não foram consideradas outras fontes de sedimentos; no entanto este resultado permite definir o local onde os sedimentos presentes na coluna d'água tenderam a depositar/sedimentar. Observando os resultados e considerando que as forças de sustentação destes sedimentos são diretamente proporcionais as velocidades longitudinais/residuais, espera-se que as concentrações de material particulado em suspensão sejam elevadas nesta região, ou seja, com uma tendência de deposição. A manutenção desta zona é resultado de uma complexa interação entre diferentes forçantes: circulação estuarina, a presença da estratificação (salina ou térmica), o estoque de sedimentos, e os processos de erosão e deposição. E ainda, observa-se claramente que a localização da ZMT, definida por Norenberg (2001) e observada por Zem *et al.* (2007), baseada em dados medidos durante dois ciclos com condição de maré sizígia, durante o verão de 2005 e o inverno de 2006, é confirmada pelo resultado do modelo. A Figura 11

mostra os valores de concentrações de material particulado em suspensão, no raio de 70m em torno das estações Est\_1, Est\_2 e Est\_3. Observa-se que na Est\_1 as concentrações são um pouco superiores as encontradas na Est\_2 e em relação a Est\_3, bem superiores. Este resultado permite concluir que o sedimento proveniente principalmente dos rios Cachoeira e Nhundiaquara ficam retidos em torno da região da Est\_2 e que pouco sedimento é transportado para a região mais externa da baía de Paranaguá. Novamente, os valores de concentração não representam aos valores reais, visto que não foram consideradas outras fontes de sedimentos.



**Figura 10.** Distribuição de concentrações de material particulado em suspensão, em mg/L, nos dias 26/05/2012 (direita) e 16/07/2012 (esquerda), o final da simulação.



**Figura 11.** Concentrações de material particulado em suspensão, em mg/L, nas estações Est\_1, Est\_2 e Est\_3, durante o período simulado.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o estudo da modelagem do transporte de material particulado em suspensão é adequado e pode ser usado de modo qualitativo. Foi utilizado um modelo de transporte Lagrangeano, que simula a tendências de deriva de sedimento, dissolvidas ou particuladas flutuantes, e o campo de corrente residual, acoplado a um modelo de circulação hidrodinâmica. Foram realizadas simulações de transporte de sedimentos para um período de 384 dias, considerando 24 ciclos de 16 dias; para cada ciclo de 16 dias foi determinado os padrões de circulação. Isto é necessário, para que o sistema entre em regime e assim, a análise do transporte de sedimentos tenha uma escala temporal compatível.

O transporte de sedimentos é bastante relacionado com capacidade das correntes em mover estes sedimentos, principalmente em suspensão. A baía de Paranaguá apresenta um regime de transição entre micromarés e mesomarés, e como indicado pela circulação residual, uma tendência de vazante, com velocidades de vazantes maiores que as velocidades de enchente. No entanto, esta tendência de vazante não é suficiente para “expulsar” o sedimento de origem fluvial da baía de Paranaguá, que fica retido entre a foz do rio Nhundiaquara e a cidade de Paranaguá. É nesta região que o modelo apresentou as maiores concentrações de material particulado em suspensão, como pode ser observado na Figura 10. Os valores numéricos de concentração de material particulado em suspensão (MPS) obtidos pelo modelo não podem ser comparados com valores medidos, considerando que apenas as fontes relativas aos rios principais afluentes foram consideradas. E ainda, por falta de valores medidos, as cargas de material particulado em suspensão foram consideradas permanentes, durante os 384 dias. Isto explica o comportamento observado das concentrações de MPS nos pontos localizados na baía de Paranaguá (Figura 11): depois de estabelecido o regime, as variações temporais são moduladas pela maré.

A modelagem ambiental deve considerar uma abordagem ampla nos aspectos espacial e temporal. Desta forma, apesar das conhecidas limitações de qualquer modelagem, e considerando que os dados usados não refletem as variações temporais e espaciais observadas, é possível afirmar que a metodologia mostrada neste trabalho atinge o objetivo de auxiliar no gerenciamento de baías sujeitas a lançamento de efluentes, e no estabelecimento de prognósticos, considerando que o poluente tende a associar-se ao material particulado em suspensão e assim, depositar ou ficar retido na zona de máxima turbidez.

É importante mencionar que a modelagem matemática não é uma ciência exata. Existem simplificações na definição dos processos dominantes para a modelagem, como imprecisões por causa da discretização da região do estudo e incertezas na descrição das condições de contorno. Neste trabalho a incerteza maior é relacionada à descrição das condições de contorno, pela falta ou pequena disponibilidade de dados das cargas de MPS, por exemplo. Há incerteza relacionada a imprecisões por causa da discretização já que o modelo não pode ser calibrado. De qualquer maneira, os resultados, mesmo sem calibração, permitem análises de processos dominantes e de ordens de grandeza da circulação hidrodinâmica e de circulação residual. Os valores aqui encontrados, portanto, não devem ser encarados como representativos do CEP.

A modelagem matemática é uma ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos, podendo subsidiar as decisões de gerenciamento. Os modelos são particularmente úteis quando são usados como ferramenta de comparação ao se estabelecer metas a serem alcançadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cunha C. L. N., Scudelari A. C., Gonçalves J. E., Mercuri E. G. F. (2011). Assessment of sanitary sewage pollution in the Paranaguá estuarine complex of Paranaguá, Brazil using environmental modeling. *Journal of Coastal Research* 64, 912-916.
- Dyer K. R. (1995). Sediment transport processes in estuaries. In: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Ed. Elsevier Science, 423-449.
- Knoppers B. A., Brandini F. P., Thamm C. A. (1987). Ecological studies in the Bay of Paranaguá II: some physical and chemical characteristics. *Nerítica* 2, 1-36.
- Marone E., Jamiyanna D. (1997). Tidal characteristics and a numerical model for the M2 tide at the Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Paraná, Brazil. *Nerítica* 11, 95-107.
- Mantovanelli, A. (1999). *Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem*. Dissertação de mestrado em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Noernberg, M. A. (2001). *Processos morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: um estudo a partir de dados in situ e Landsat-TM*. Tese de Doutorado em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Zem R. C., Patchineelam S. M., Guerra J. V. (2007). Fluxos Residuais de Material Particulado em Suspensão na Zona de Máxima Turbidez da Baía de Paranaguá-PR. In *Anais do XI Congresso da ABEQUA - Os estudos do quaternário e a responsabilidade sócio-ambiental*. Belém - PA.