

RELAÇÕES ENTRE CAMPOS DE CORRENTES DE MARÉ E O TRANSPORTE SEDIMENTAR NA DESEMBOCADURA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (CEP)

Mihael Machado de Souza¹; Marcelo Renato Lamour¹
mihael@ufpr.br

¹ Centro de Estudos do Mar (CEM/UFPR), Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGeo)

Av. Beira Mar, s/n, CP 50.002, Pontal do Paraná, Paraná

Palavras-chave: Carga de Fundo; Batimetria; Sedimentologia

1. INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica sedimentar de uma região permite a identificação de zonas de erosão e/ou deposição, que podem levar ao estabelecimento de áreas de maior ou menor risco para a ocupação urbana, ou para a execução de obras de engenharia costeira. No caso da desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), onde está localizada a via de acesso aos portos costeiros do Paraná, o estudo da dinâmica sedimentar pode auxiliar em um manejo eficiente de futuras dragagens. Por outro lado, é evidente a importância das diversas Unidades de Conservação delimitadas nas adjacências, as quais necessitam de informações para os seus planos de gerenciamento.

Estes estudos baseiam-se na hidrodinâmica da região, sua batimetria e nas características sedimentares do substrato. A junção destes fatores pode indicar a forma predominante de transporte (arrasto ou suspensão), e qual a sua efetividade em cada região. O transporte por carga de fundo ocorre quando há transferência de energia da camada de água adjacente, na forma de stress tangencial. Este stress movimenta as partículas sedimentares, movendo-as no mesmo sentido das correntes (Dyer, 1986). Neste contexto, o aumento das velocidades implica na intensificação do transporte, até que ela seja suficiente para colocar, mesmo as partículas mais grossas, em suspensão.

O objetivo deste trabalho é delimitar campos de corrente ao longo de um transecto localizado na desembocadura do CEP, para a definição da efetividade de transporte sedimentar teórico das correntes de maré em cada campo.

2. ÁREA DE ESTUDO

O CEP (25° 15'S/48° 35'W) está localizado na porção centro-norte do litoral paranaense. As amplitudes de maré atuantes são moderadas (≈ 2 m), enquanto que as correntes de maré são intensas atingindo picos de velocidade de ≈ 2 m.s⁻¹ (≈ 3 m de profundidade), onde toda a coluna de água move-se em conjunto durante os períodos de enchente e de vazante, caracterizando-o como um estuário parcialmente misturado do tipo B (Knoppers *et al.*, 1987) (Figura 1).

Com relação ao padrão de circulação nesta região, Noernberg (2001) verificou que as correntes de maré acompanham a via de navegação, com uma flexão a leste das correntes de vazante na região da plataforma rasa adjacente. Os sedimentos de fundo variam entre as areias finas a médias, bem a muito bem selecionados, com teores de carbonato e matéria orgânica

abaixo dos 5%, sendo que dentro da zona amostrada há uma predominância das areias finas ($d_{50} = 0,0002$ m) (Lamour, 2004).

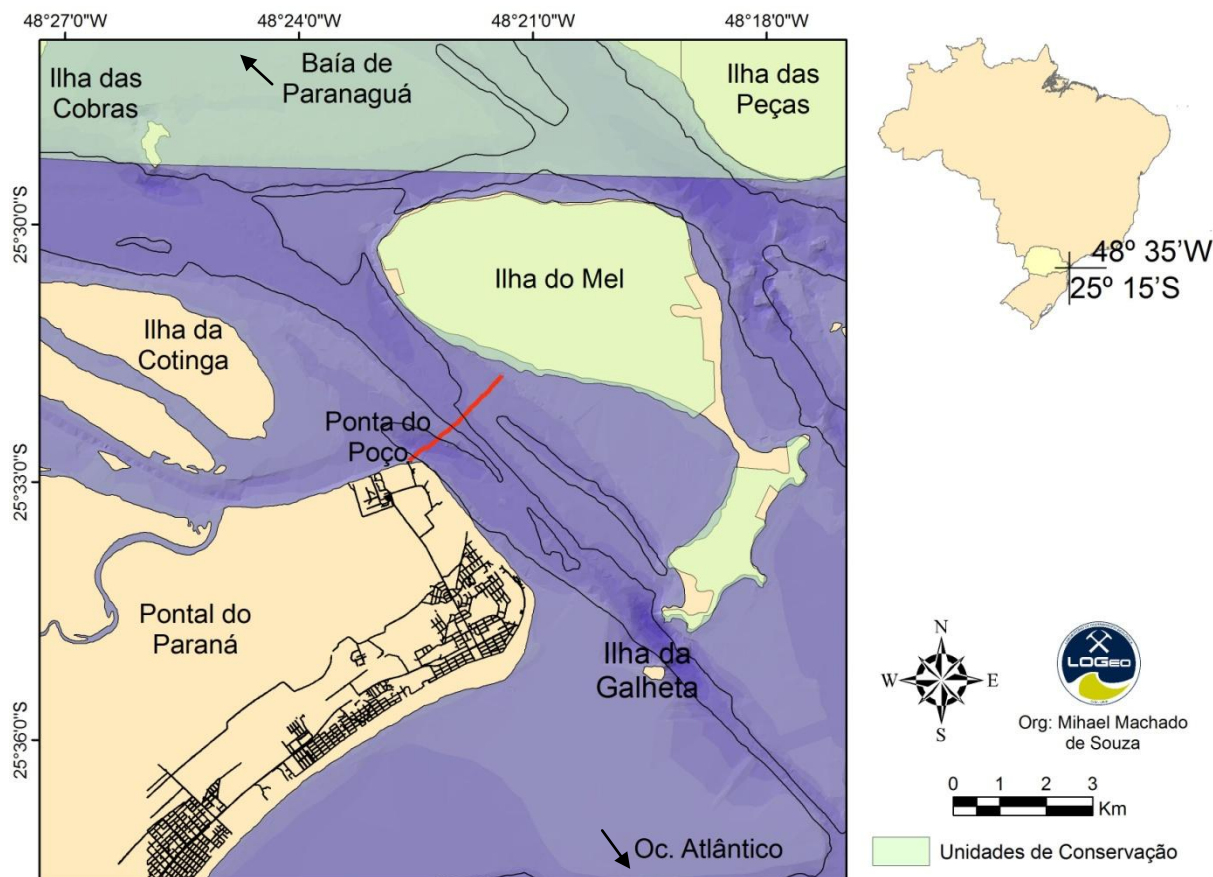


Figura 1 – Mapa de localização da desembocadura sul do CEP, com indicação dos transectos amostrados (em vermelho) e da isobatimétrica dos 10 metros.

Ao longo do tempo dragagens foram realizadas na região, o que gerou mudanças no perfil batimétrico local, alterando sua dinâmica sedimentar. As profundidades ao longo do perfil variam entre os 25 m junto a Ponta do Poço, 15 m nas imediações do canal navegável e 7 m ao largo da Ilha do Mel, onde as profundidades mínimas atingiram os 4 m.

As margens desta região do CEP apresentam praias estuarinas ou sob domínio de desembocadura (Rosa & Borzone, 2008), algumas com ocupação urbana, assim como tráfego de embarcações turísticas com destino à Ilha do Mel. Nestas regiões é possível identificar o resultado de processos erosivos que ameaçam a urbanização, incorrendo na necessidade de variadas obras de contenção. Além disso, a região da Ilha do Mel e seus entornos apresentam várias Unidades de Conservação, as quais estão sujeitas as variabilidades ambientais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados de correntes de maré foram mensurados durante o período de sizígia do mês de fevereiro de 2008, o qual apresentou alta pluviosidade (56,8 mm) (Ueda, 2008). Para este trabalho, foram utilizados dados de dois dos transectos dispostos entre a Ponta do Poço e a

Ilha do Mel (Figura 1), relativos às meias marés de enchente e vazante. A extensão total dos transectos amostrados foi de 1600 metros, cobrindo completamente a área de seção entre a ilha do Mel e a Ponta do Poço.

Os dados foram analisados e exportados utilizando *software* próprio do equipamento (River Survey 4.3 e View ADP 3.92, respectivamente), e processados utilizando o ArcGIS 9.3.1. As velocidades das correntes obtidas foram decompostas para que refletisse apenas as correntes de maré longitudinais ao canal, conforme o método de Miranda (1984).

A partir desta decomposição, foram obtidos valores positivos e negativos de velocidades de corrente que representam os fluxos de maré vazante e enchente, respectivamente. Posteriormente, foram selecionadas as informações relativas aos primeiros 4 m, a partir da superfície de fundo, as quais foram interpoladas pelo método de triangulação linear. Optou-se por esta seleção pela efetividade do transporte por carga de fundo, de forma que possíveis ruídos nos dados do ADCP (devido a material particulado em suspensão) fossem minimizados. Outro ponto que justificou esta decisão foi a manutenção dos efeitos da camada limite sobre a superfície de fundo.

Os campos de correntes estabelecidos ao longo destes transectos foram delimitados, inicialmente, através de avaliação visual dos valores de velocidades e profundidades. A partir desta primeira análise, parâmetros básicos estatísticos foram obtidos (velocidade máxima, média e mínima, assim como o desvio-padrão) para verificar os campos selecionados. Então, através de um método iterativo, os campos que se assemelharam (a partir da consideração da velocidade média e do desvio-padrão) foram assimilados por campos próximos, até que apenas aqueles que apresentaram significância foram mantidos.

As velocidades críticas de cisalhamento foram calculadas para cada campo, utilizando a equação de Soulsby (1997):

$$\bar{U}_{cr} = 7 * (h/d_{50})^{1/7} * [g * (s-1) * d_{50} * f(D_*)]^{1/2} \quad (1)$$

onde: h é a profundidade; d_{50} é o diâmetro médio dos sedimentos de fundo; g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); s é a razão entre as densidades do grão de quartzo ($\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$) e da água (ρ) (ρ_s/ρ); e $f(D_*)$ é a função da densidade adimensional do grão, calculada utilizando a equação de Soulsby (1997).

4. RESULTADOS

A partir da ponderação entre avaliação visual das profundidades e dos núcleos de velocidade, e da estatística básica, cinco campos de correntes foram delimitados (Figura 3 e Tabela 1).

Os campos “A” e “B” são significativamente diferentes tanto no período de vazante quanto no de enchente, de acordo com os valores médios das velocidades (0,49 e 0,91/0,16 e 0,40, respectivamente). O campo “C” apresenta valor significativamente diferente apenas no período de vazante (0,71 em relação ao 0,91 do campo “B”), enquanto o campo “D” apresenta valor significativo no período de enchente (0,52 em relação ao 0,40 do campo “B” e 0,42 do campo “C”). O campo “E” é o que, nos dois períodos, apresentou os valores médios da velocidade mais próximos de seu campo adjacente (“D”), não sendo significativamente diferente em nenhum dos dois casos. Porém, devido ao perfil batimétrico diferenciado,

escolheu-se manter este campo, já que segundo Dyer (1986), a profundidade do fluxo é um dos fatores determinantes no transporte de sedimentos.

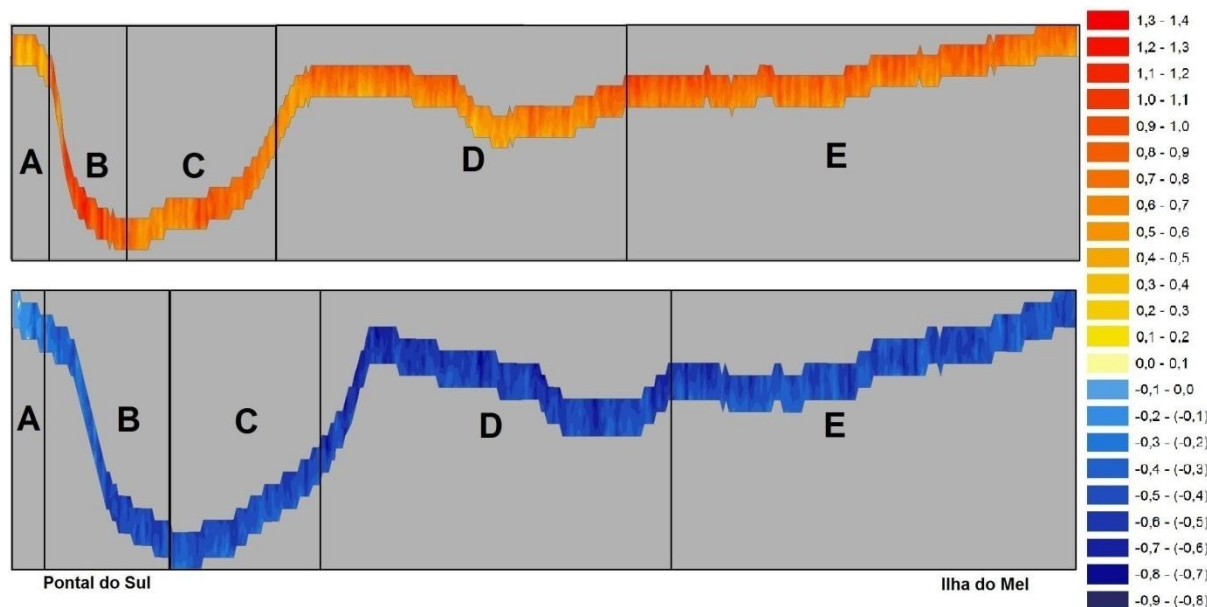


Figura 3 – Campos de corrente delimitados. Valores positivos (vermelho) representam maré vazante, enquanto valores negativos (azul) representam maré enchente.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos referentes a cada campo.

	Vazante				Enchente				
	Máxima	Média	Mínima	DP	Máxima	Média	Mínima	DP	
A	0,8	0,49	0,17	0,14	A	0,49	0,16	0,05	0,11
B	1,41	0,91	0,37	0,2	B	0,65	0,40	0,06	0,12
C	1,12	0,71	0,35	0,14	C	0,64	0,42	0,18	0,09
D	1,16	0,67	0,31	0,16	D	0,82	0,52	0,26	0,10
E	1,19	0,76	0,32	0,15	E	0,78	0,44	0,16	0,10

Além disso, a partir dos campos delimitados é possível aplicar a equação (1) a cada um, obtendo as velocidades críticas de cisalhamento em cada setor: $U_{cr}(\text{“A”}) = 0,35 \text{ m.s}^{-1}$; $U_{cr}(\text{“B” e “C”}) = 0,43 \text{ m.s}^{-1}$; $U_{cr}(\text{“D”}) = 0,41 \text{ m.s}^{-1}$; e $U_{cr}(\text{“E”}) = 0,38 \text{ m.s}^{-1}$. A partir desses valores de velocidade de cisalhamento é possível identificar em quais campos há a possibilidade de ocorrer o transporte por carga de fundo, em cada período.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Na totalidade dos campos, as velocidades no período de vazante foram muito superiores as velocidades durante as enchentes. Dessa forma, espera-se que o transporte por carga de fundo também seja maior nesse período. Além disso, durante a sizígia, as velocidades de cisalhamento são ultrapassadas pelas velocidades médias para todos os campos, indicando que o transporte ocorrerá por todo o transecto. Porém, o campo com o transporte mais intenso será o “B” (velocidade média = $0,91 \text{ m.s}^{-1}$).

Por outro lado, durante a enchente, haverá transporte apenas nos campos “D” e “E”, ou seja, na região do canal navegável e junto a Ilha do Mel. Ainda assim, ocorrerá em menor intensidade do que nos períodos de maré vazante. O fato de o transporte poder ocorrer, para o período de enchente, no campo “E”, mostra como a profundidade é realmente um fator determinante no transporte, como constatou Dyer (1986), já que mesmo em outros campos que possuem velocidades médias semelhantes a “E” (caso dos campos “C” e “B”), a diferença na batimetria é o que torna as velocidades de cisalhamento menores nestes setores.

Por fim, a delimitação de campos de correntes mostrou-se uma maneira eficiente de identificar zonas de maior ou menor transporte ao longo do transecto, assim como, inclusive, identificar locais onde pode nem sequer haver transporte em determinado período, mesmo em condições de meia maré.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. Maurício de Almeida Noernberg, do Centro de Estudos do Mar, e ao Oceanógrafo Guilherme Miguel Ueda pela disponibilização dos dados de correntes.

7. REFERÊNCIAS

- Dyer, K. R. 1986. The Fluid Flow. In: *Coastal and estuarine sediment dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 47-107.
- Knoppers, B. A.; Brandini, F. P.; Thamm, C. A. 1987. Ecological studies in the bay of Paranaguá. Some physical and quimical characteristics. *Neritica*, vol. 2, pp 1-36.
- Lamour, M. R.; Soares, C. R.; Carrilho, J. C. 2004. Mapas dos parâmetros texturais dos sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 55, pp. 77-82.
- Miranda, L. B. 1984. Cinemática e dinâmica de estuários. São Paulo: USP, Instituto de Oceanografia. 360 pp.
- Noernberg, M. A. 2001. Processos morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: um estudo a partir de dados *in situ* e imagens Landsat-TM. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. 142 pp.
- Rosa, L. C. da; Borzone, C. A. 2008. Uma abordagem morfodinâmica na caracterização física das praias estuarinas da Baía de Paranaguá, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 38-2, pp. 237-245.
- Souslby, R. 1997. Dynamics of marine sands: a manual for practical applications. Thomas Telford Publications, Londres. 249 pp.
- Ueda, G. M. 2008. Caracterização da dinâmica hídrica da desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá. Monografia – Universidade Federal do Paraná. 130 pp.