

# ***CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR DO CANAL DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, ESTADO DO CEARÁ, BRASIL***

Sedimentary characterization of the channel of Coreaú River's estuary, Ceará State, Brazil

Maria Cecília da Silva Colares<sup>1</sup>, Lidriana de Souza Pinheiro<sup>2</sup>, Maria Oziléa Bezerra Menezes<sup>3</sup>, Jáder Onofre de Morais<sup>4</sup>

## **RESUMO**

*O objetivo deste trabalho foi caracterizar a sedimentação longitudinal do estuário do Rio Coreaú, utilizando-se para isso metodologia cruzada de geoprocessamento e elaboração do Diagrama de Pejrup, para inferir o regime hidrodinâmico e sua repercussão na distribuição das facies sedimentares. Ficou evidente a ocorrência de um alto nível de hidrodinâmica devida à presença de sedimentos mais grossos em sua foz, e de moderado e alto níveis ao longo do curso do rio, dependendo de uma combinação entre variação sedimentar e seu fluxo. Apresentou um padrão sedimentológico de estuário misto, nos quais os processos sedimentares na desembocadura são governados predominantemente pelas ondas e no interior do estuário pelas marés e ações antropogênicas. A sedimentação de origem marinha foi verificada a uma distância de 28 km da foz. O Diagrama de Pejrup demonstrou ser uma boa ferramenta de análise da sedimentação para estuários tropicais com influência da semi-aridez.*

**Palavras-chaves:** Rio Coreaú, Diagrama de Pejrup, estuário, sedimentação, hidrodinâmica.

## **ABSTRACT**

*The aim of this study was to characterize the lengthwise sedimentation of the Coreaú River's estuary, using for this crossover design of GIS and construction of the Pejrup Diagram to deduce the hydrodynamic regime and its impact on the distribution of sedimentary facies. It was evident the occurrence of a high level of hydrodynamics due to the presence of coarse sediments in the river's its mouth, and moderate and high levels of hydrodynamics along its course, depending on a combination of sediment variation and its flowing. Sedimentation pertained to a pattern of mixed estuary, where the sedimentary processes are governed predominantly by the waves in the mouth and inside the estuary by the tidal and anthropogenic actions. The sedimentation of marine origin was found at a distance of 28 km from the river's mouth. The Pejrup Diagram proved to be a good analysis tool for the sedimentation in tropical estuaries under the influence of a semi-arid climate regime.*

**Keywords:** Coreaú River, Pejrup Diagram, estuary, sedimentation, hydrodynamics.

<sup>1</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais (PPGCMT-UFC), e-mail: cecolares@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC), e-mail: lidriana@ufc.br

<sup>3</sup> Professor do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC), e-mail: ozilea@gmail.com

<sup>4</sup> Professor do PROPGEIO da Universidade Estadual do Ceará e PPGCMT (Labomar-UFC), e-mail: jaderonofre@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A diversidade de ambientes no litoral brasileiro mostra a riqueza natural expressada geologicamente por suas feições costeiras distribuídas ao largo da costa. Dentre essas, encontra-se o berçário natural de várias espécies, ambiente de troca de águas, variabilidade de salinidades e densidades, um verdadeiro desafio para estudos morfodinâmicos: os estuários.

Estuário é o limite mais à jusante de um vale afogado que recebe sedimentos fluviais e marinhos e que contém fácies sedimentares influenciadas pela maré, pelas ondas e pelos processos fluviais compreendendo toda a extensão do vale afogado que se estende do limite à montante das fácies de maré até o limite à jusante das fácies costeiras próximo à embocadura (Dalrymple, 1992; Dalrymple & Choi, 2003; Flemming & Hanson, 2012). Em muitos casos a deposição estuarina se estende sobre a plataforma continental, no caso de rios de maior vazão (Chant, 2011).

São geralmente áreas de atividade humana significativa em que as alterações morfológicas podem ter impactos severos sobre o ambiente, tanto em curto prazo, através de uma mudança abrupta na velocidade de redistribuição de sedimentos, como em longo prazo (Robins & Davies, 2010; Pinheiro *et al.*, 2006; Pinheiro & Morais, 2010).

O estuário do Rio Coreaú está inserido numa importante bacia hidrográfica que drena e abastece a região Sul-Norte do Estado do Ceará, sob a influência da semiaridez. A maioria dos rios da região semiárida do Nordeste é intermitente, fluindo somente durante a estação chuvosa. A penetração da água do mar nos vales dos rios, durante as marés cheias, impede que esses rios fiquem sem a comunicação com o oceano durante a estiagem (Pinheiro & Morais, 2010).

Na região estuarina os estudos estão concentrados na compartimentação e impactos ambientais, evolução paleogeográfica da bacia no Plio-Pleistoceno e preenchimento de vales incisos, contaminação por metais e morfodinâmica da foz (Meireles & Silva, 2007; Farrapeira, 2013; Miola, 2013; Silva, 2013; Rodrigues, 2014). No entanto, existia uma lacuna de informações sobre a distribuição longitudinal das fácies sedimentares do canal estuarino que revelam o controle dos agentes hidrodinâmicos marinhos e fluviais na deposição, transporte e erosão do canal e margens estuarinas. Esse tema é relevante por se tratar de um estuário alimentado por rios intermitentes sazonais com vazão regularizada por barramentos, o que pode acarretar em in-

tensa mobilidade de fundo e interferir em atividades como navegação e ocupação das margens.

Em face do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a sedimentação longitudinal do estuário do Coreaú, utilizando para isso metodologia cruzada de geoprocessamento e elaboração do Diagrama de Pjerup para inferir sobre o regime hidrodinâmico e sua repercussão na distribuição das fácies sedimentares.

## ÁREA DE ESTUDO

O canal estuarino do Rio Coreaú está localizado entre as coordenadas 2°53'S - 40°51'W e 3°06'S - 40°49' W, com área total de 15,35 km<sup>2</sup> de lâmina d'água e 24 km de navegação de rio, dentro dos limites dos municípios de Camocim e Granja (Figura 1).

O vale do estuário do Rio Coreaú está encaixado em um relevo tabular com depósitos Plio-Pleistocênicos da Formação Barreiras e com fraca dissecação entre os interflúvios (Meireles & Silva, 2002), sendo bordejado por dunas móveis, praias arenosas, planícies fluviomarinhas, apicuns e falésias rochosas da Formação Camocim na foz (Morais *et al.*, 2006; Meireles & Silva, 2002; Farrapeira, 2013). A Região Hidrográfica do Coreaú é composta por doze sub-bacias (COGERH, 2009), tendo como principal coletor de drenagem o Rio Coreaú no sentido preferencial sul/norte, mas incluindo outros cursos d'água de menor dimensão em relação ao qual estão paralelamente dispostos. No período de chuva, a vazão afluente ao estuário pode alcançar 32 m<sup>3</sup>/s (Molisani *et al.*, 2005) mas, no período de estiagem, esta é inferior a 1 m/s em decorrência da vazão regularizada dos reservatórios.

O estuário, a exemplo da costa do Ceará, se localiza numa região de mesomárés semidiurnas, com amplitudes máximas de 3.2 m (Morais *et al.*, 2006). As ondas predominantes são as do tipo *sea* de curto período (8 s) e pequena altura (Bensi *et al.*, 2005). A deriva litorânea de sedimentos na foz é controlada pelo ataque oblíquo das ondas geradas pelos Alísios de leste e nordeste, direcionando o sedimento para a desembocadura do canal em parte, penetrando no estuário pelos movimentos de refração das ondas no *spit* formado na margem direita da desembocadura (Meireles & Silva, 2002). Esse processo favorece, sobretudo a ação das marés, a importação de sedimentos para o interior do estuário.

Os ventos predominantes são os de E-SE, com velocidades médias no período de chuvas e estio de 5,47 m/s e 7,75 m/s, respectivamente (Jimenez *et al.*, 1999). Em experimentos recentes na Ilha do Amor,

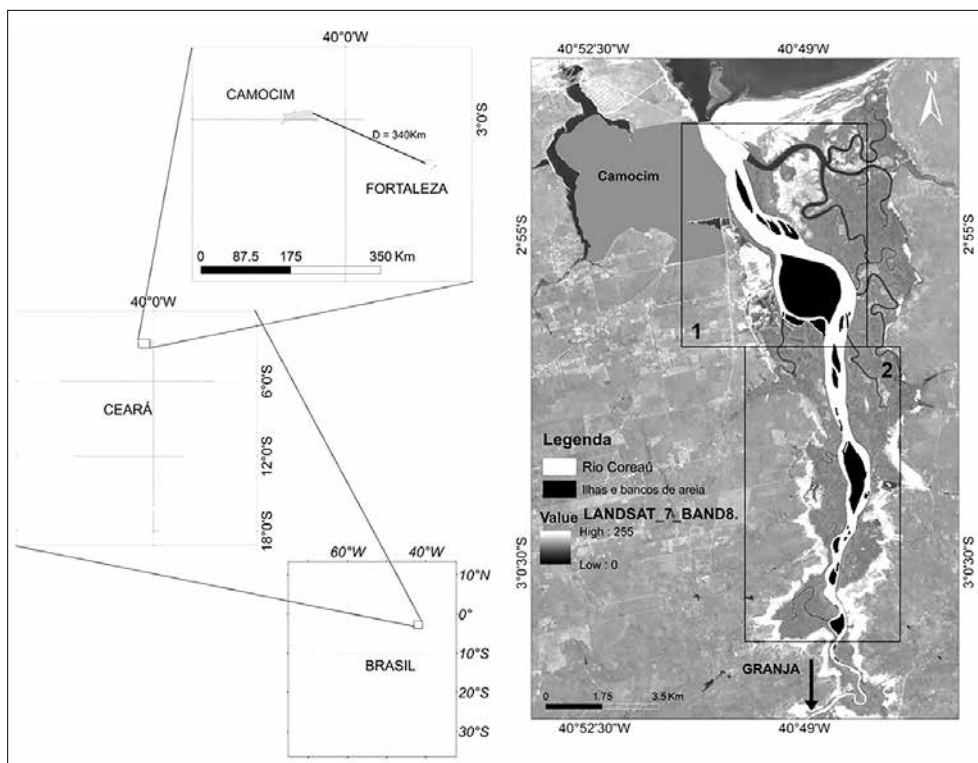


Figura 1 - Localização da área de estudo: 1 e 2 - áreas de amostragem do sedimento.

na margem direita do estuário, foram registradas velocidades de 16 m/s no segundo semestre de 2013 (Camelo, 2013).

## METODOLOGIA

Foram coletadas 354 amostras de sedimentos ao longo do percurso de 22,7 km de estuário, distribuídas numa malha de quatro amostras coletadas por perfil, sendo cada perfil perpendicular à margem do rio numa distância de 200 m cada (Figura 2). Observa-se que em determinado trecho as amostras ficam lineares devido à impossibilidade de navegação perpendicular no trecho imposta por limites de profundidade relacionados com amplitude de maré e formação de bancos de areia no percurso.

Foi utilizada uma draga de amostragem de fundo do tipo *VanVenn*. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados com GPS. As amostras passaram por peneiramento mecânico e úmido para a caracterização textural e granulométrica (Suguio, 1973). Para a determinação do teor de  $\text{CaCO}_3$ , utilizou-se o método clássico do calcímetro de Bernard modificado por Lamas *et al.* (2005).

Na espacialização dos dados coletados, depois de processados, utilizou-se uma imagem LANDSAT 7, do ano de 2001, banda 8, Pancromática, georreferenciada para o DATUM SIRGAS 2000. Na confecção dos mapas apresentados aqui com todos os dados já processados, utilizou-se o método de interpolação pelo inverso da distância ponderada (IDW) de um software de geoprocessamento, baseado na semelhança de pontos mais próximos uns dos outros que localmente influenciam aquela região, do que pontos mais distantes no mesmo local. Sendo assim, esse método assume que cada ponto medido localmente influencia os outros no seu entorno e essa influência diminui com o aumento da distância do ponto medido.

Todas as amostras foram inseridas no software ANASED, desenvolvido pelo LGMA - Laboratório de Geologia Marinha da UFC. Foi utilizada a classificação de Folk e Ward para classificar os sedimentos. O Diagrama de Pejrup (Pejrup, 1988) foi elaborado a partir do processamento granulométrico das amostras que as separou por tamanho de grão e percentual de areia, silte e argila, possibilitando a determinação do regime hidrodinâmico do Coreaú.

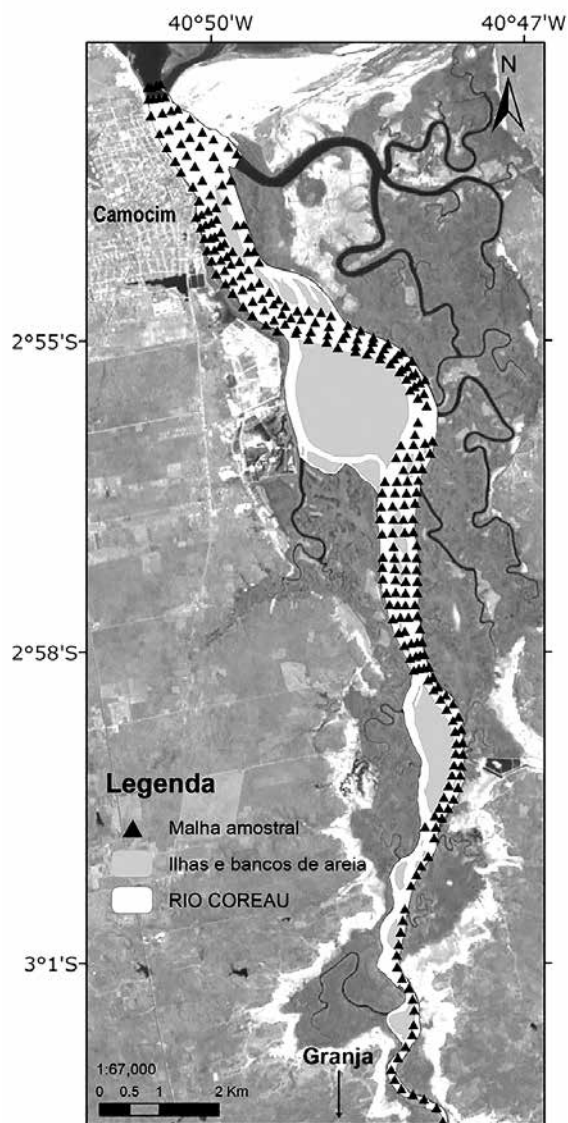


Figura 2. Malha amostral de sedimentos no estuário do Coreau totalizando 22,7Km.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estuário tropical do Rio Coreau apresenta um padrão sedimentológico típico de estuários influenciados por ondas na sua foz e ao longo de seu curso influenciado pelas marés, podendo ser enquadrado na classificação de Dalrymple (1992) como estuário misto.

A determinação do teor de carbonato de cálcio das amostras revela uma distribuição de sedimentos com forte influência marinha na foz do Coreau, com valores médio de 40 % e máximo de 90%. Nas Áreas 02 e 03 os maiores valores estão associados aos pontos de descartes de carcinicultura (Áreas 01

e 02) – ver Figura 3. As fontes de sedimentos marinhos no estuário estão relacionadas com o transporte sedimentar por deriva litorânea na foz, ondas, (Área 01), influência de fluxo de marés ao longo do rio, e aporte sedimentar advindo de condições normais de sistemas fluviais de regiões semiáridas associada a períodos de precipitação e vazão (final da Área 02) nos três meses de estação chuvosa bem definidos na região (Figura 3).

A granulometria processada e espacializada através do método do inverso da distância ponderada (IDW) (Figura 4) apresenta resultados coerentes com o Diagrama de Pejrup (Figura 5). Na Área 01 predominam os sedimentos arenosos, de granulometria variando de média a grossa com presença de cascalhos litoclásticos esparsos. Os processos de erosão são mais efetivos do que os de deposição. Nesse setor, com registro das maiores profundidades do canal, foram encontradas *megaripples* com alturas de 0,50 m, feições características do trabalho das correntes de fundo na remobilização de material, com direção predominante das cristas das estruturas para o interior do estuário indicando, provavelmente, a ação das correntes de enchente (Silva, 2013). A desembocadura e o *spit* arenoso ali existente é controlada pela ação das ondas locais. Nas margens predominam os sedimentos arenosos com ocorrências esparsas de facies lamosas com manguezais.

Entre o Porto de Camocim e a Ilha Trindade, os registros sedimentares indicam uma zona de hidrodinâmica que varia de muito alta e alta. Nas proximidades da ilha, os registros de hidrodinâmica alta ocorrem na parte central do canal, com predomínio dos sedimentos arenosos. Nos canais próximos as margens predominam os lamosos. Esses dados corroboram com os gerados nos levantamentos sonográficos realizados por Silva (2013), em que o talvegue está posicionado no setor central do canal estuarino e as margens são ocupadas por manguezais.

Entre a Ilha Trindade e Ilha Grande predominam os sedimentos areno-lamosos ao longo de todo o canal, sendo de 40% a concentração média de carbonato de cálcio. As margens são constituídas por sedimentos lamosos, com predominância das argilas e de manguezais. Nessa área existe maior concentração de viveiros de camarão, o que pode favorecer o aporte de sedimentos finos para este setor do estuários. Godoy & Lacerda (2013) observaram esse aumento na taxa de sedimentação no estuário do Rio Jaguaribe associado ao maior aporte de sedimentos no momento de despesca de viveiros. Miola (2013), a partir da análise de testemunhos em áreas adjacentes aos viveiros no estuário do Coreau, conseguiu de-

tectar alternâncias rápidas entre frações arenosas e lamosas no topo, o que atribuiu as possíveis interferências de viveiros.

Além da maior disponibilidade de sedimentos, vale destacar que nesse trecho a sinuosidade e a redução da profundidade do canal são maiores, resultando na redução da velocidade das correntes e favorecendo a deposição (Robins & Davies, 2010). As barras arenosas móveis e as vegetadas, feições indicativas de assoreamento, ocorrem em maior número nesse setor. O padrão sedimentar se diferencia na proximidade da cidade de Granja com o predomínio de sedimentos litoclásticos de origem

fluvial associados a ocorrência esparsada de sedimentos areno-lamosos com concentrações que variam de 20 a 40% de  $\text{CaCO}_3$ , indicando influência marinha. A esses sedimentos litoclásticos, constituídos por quartzo e feldspatos, foram encontrados fragmentos de conchas marinhas, com profundidade média de 0,60 m nesse setor (Colares, 2015). Considerando que o deságue fluvial é restrito no ano e que ocorrem barramentos na bacia ao longo de nove meses, todo o processo de ressuspensão de material de fundo provavelmente é governado exclusivamente pela ação das correntes de enchente nas maiores marés.

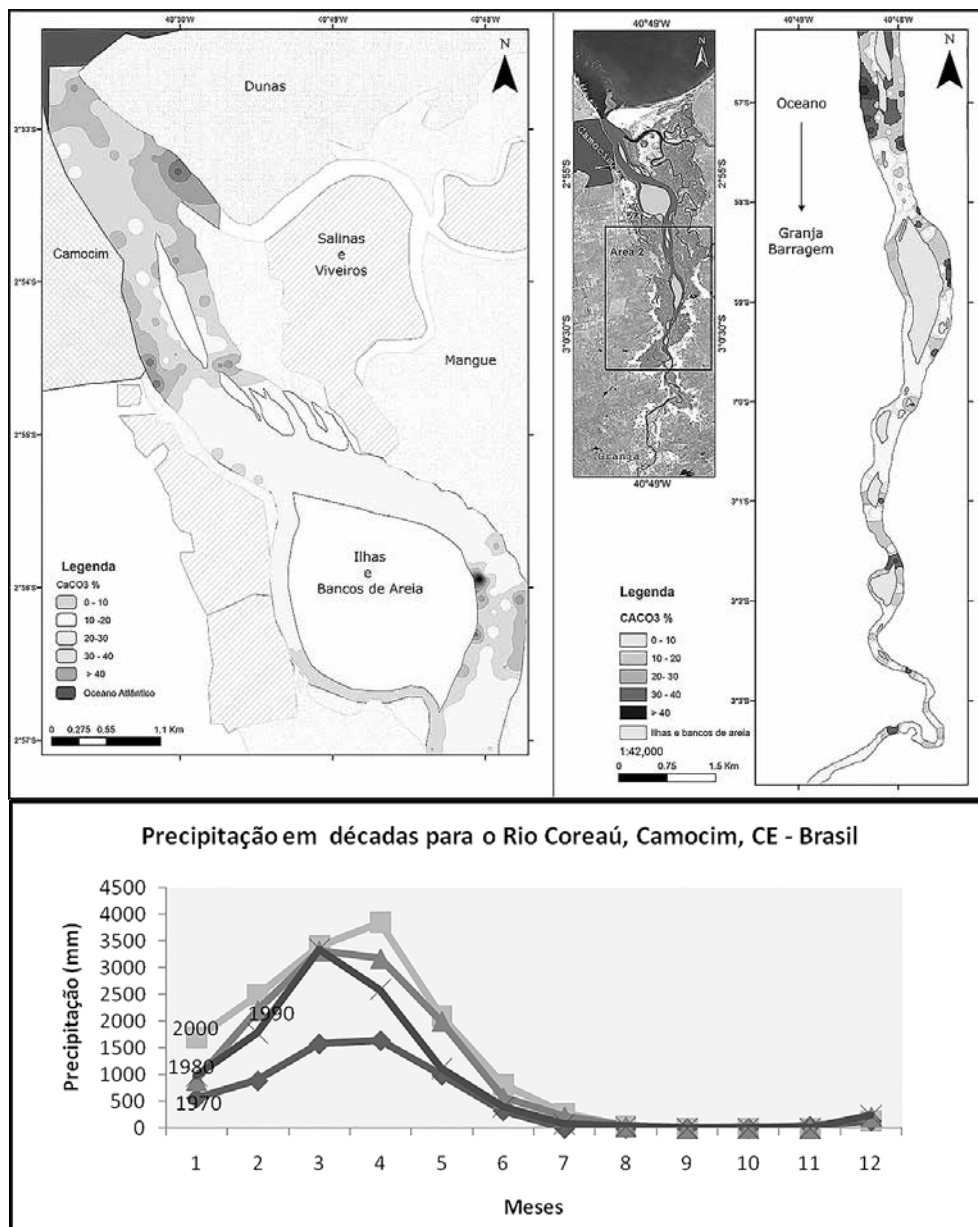


Figura 3 - Distribuição do teor de carbonato de cálcio para as áreas 1 e 2, e gráfico de precipitação por década mostrando a quadra de chuvas para o Coreáú.

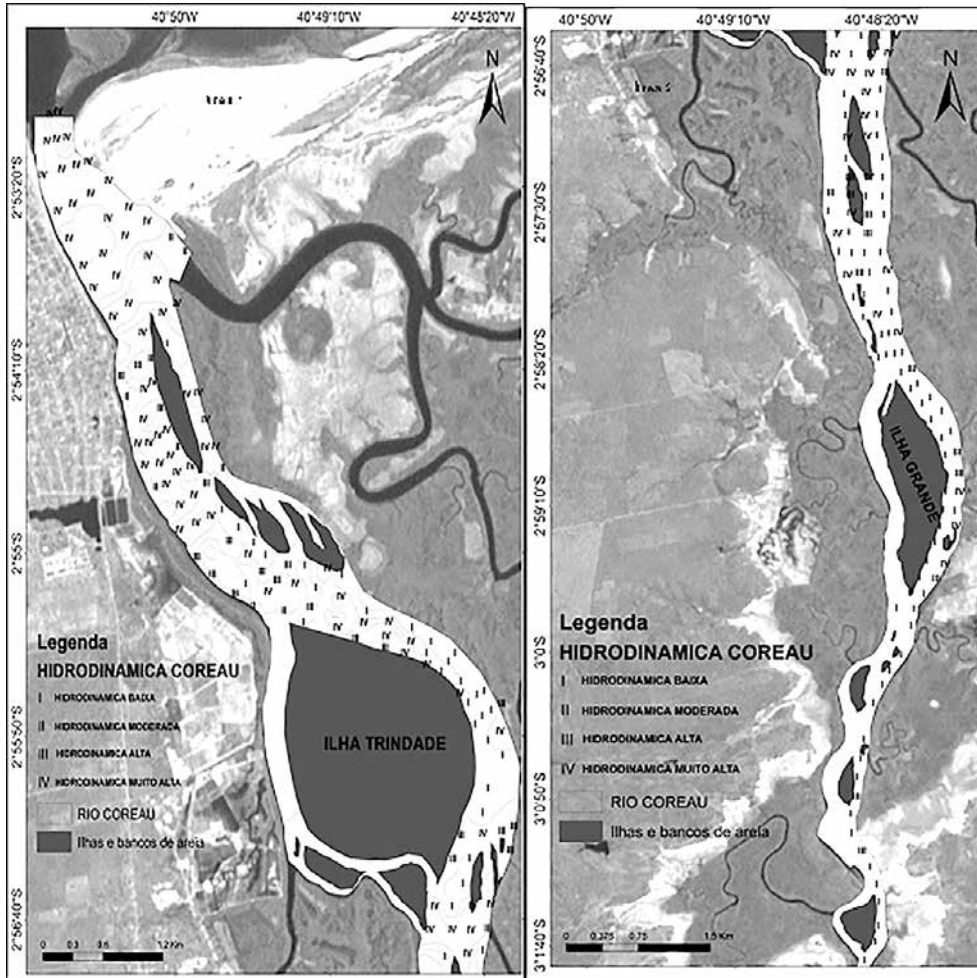


Figura 4 - Hidrodinâmica do Rio Coreau, segundo o Diagrama de Pejrup para as Áreas 01 e 02.

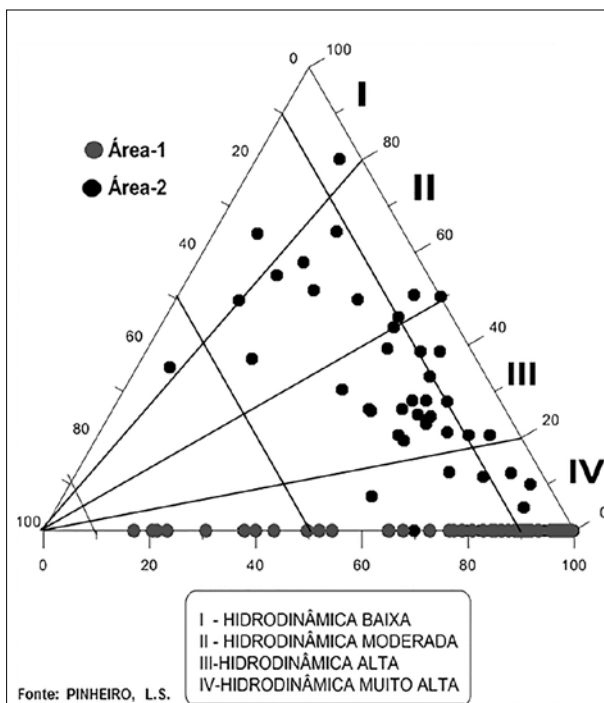


Figura 5 - Aplicação do Diagrama de Pejrup ao estuário do Rio Coreau.

## CONCLUSÕES

1. A configuração sedimentológica do estuário do Coreaú mostra uma variação bem delimitada das facies sedimentares, de arenosa a argilo-arenosa entre a desembocadura e o limite interno do estuário.

2. A influência marinha evidenciada pela distribuição do teor de carbonato de cálcio evidencia um estuário com forte intrusão marinha ao longo do canal, com teores de  $\text{CaCO}_3$  que variaram de 10 a 90% e valor médio de 40%.

3. A hidrodinâmica do estuário balizada pelo diagrama de Pejrup apresentou uma tendência de muito alta a moderada na Área 01, com forte influência das ondas na desembocadura e da maré (correntes de enchente) na propagação do material ao longo do canal;

4. A Área 02 apresenta um quadro de dois tipos de hidrodinâmica: uma zona de hidrodinâmica variando de alta a moderada ao final da Ilha Trindade com presença de sedimentos arenosos e areno-lamosos e outra zona de hidrodinâmica baixa, iniciando na Ilha Grande até a parte final dessa área.

5. O padrão sedimentar se diferencia na proximidade da cidade de Granja com o predomínio de sedimentos litoclásticos de origem fluvial associados à ocorrência esparsa de sedimentos areno-lamosos, com concentrações que variam de 20 a 40% de  $\text{CaCO}_3$  e indicam influência marinha.

**Agradecimentos** - Ao projeto Estudo Oceanográfico dos Manguezais Brasileiros e a Formação de Recursos Humanos Qualificados (CAPES-Ciências do Mar-Proc.0876/10) e Interferências do Uso da Terra e da Semiáridade na Dinâmica Ambiental do Estuário do Rio Coreaú-CE (CNPq- 307582/2012-4), pelo apoio financeiro. A CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado do autor principal. Aos alunos de graduação do Curso de Oceanografia da UFC, Carlos Eduardo Camelo e Diego Silva, pela ajuda nos trabalhos de campo e laboratório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bensi, M.; Marinho, R. A. & Maia, L.P. Clima de ondas e sua implicação com a erosão costeira ao longo do Estado do Ceará, in *Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca*, p. 802-815, Fortaleza, 2005.

Camelo, C.E.C.J. *Avaliação da influência do transporte eólico na evolução da desembocadura do estuário do Rio Coreaú, Camocim-CE*. Monografia de Graduação,

Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Ceará, 54 p., Fortaleza, 2013.

Chant, R.J. Interactions between estuaries and coasts: river plumes - their formation transport and dispersal. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, p. 213-235, 2011.

COGERH. *Caderno Regional da Bacia do Coreaú - Vol. 3*. Governo do Estado do Ceará, 120 p., Fortaleza, 2009.

Colares, M.C.S. *Evolução geomorfológica do canal estuarino do Rio Coreaú, Ceará, Brasil*. Fortaleza (CE), 2015. 96 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, 96 p., Fortaleza, 2015.

Dalrymple, R.W. Tidal depositional systems, p.195-218, in Walker, R.G. & James, N. P. (eds.), *Facies models: response to sea level change*. Geological Association of Canada, 1992.

Dalrymple, R.W. & Choi, K.S. Sediment transport by tidal currents, p. 606-609, in Middleton, G.V. (ed.), *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.

Farrapeira, C.A. *Evolução paleogeográfica do baixo vale do Rio Coreaú e plataforma continental, Ceará, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, 150 p., Fortaleza, 2013.

Flemming, B.W. & Hansom, D.J. *Estuarine and coastal geology and geomorphology: a synthesis*. Elsevier, Amsterdam, 2011.

Godoy, M.D.P. & Lacerda, L.D. River-island morphological response to basin land-use change within the Jaguaribe River estuary, NE Brazil. *J. Coast. Res.*, v.30, n.2, p.399-410, 2013.

Jimenez, J.A.; Maia, L.P.; Serra, J. & Morais, J.O. Aeolian dune migration along the Ceara coast, north-eastern Brazil. *Sedimentology*, v. 46, n.4, p. 689-701. 1999.

Lamas, F.; Irigaray, C.; Oteo, C.; Chacon, J. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. *Engineer. Geol.*, v. 81, p. 32-41, 2005.

Meireles, A.J.A., Silva, E.V. Abordagem Geomorfológica para a realização de estudos integrados para o planejamento e gestão em ambientes flúvio-marinhos. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, v. 6, n. 118. 2002.

Miola, B. *Caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos do manguezal do estuário do Rio Coreaú,*

- Ceará-Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 87 p., Fortaleza, 2013 .
- Molisani, M. M., Cruz, A. L. C., & Maia, L. P. Estimativa da descarga fluvial para os estuários do Estado do Ceará, Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39, 53-60, 2006.
- Morais, J. D.; Freire, G. S. S.; Pinheiro, L. S.; Souza, M. D.; Carvalho, A. D.; Pessoa, P. R. S. & Oliveira, S. H. M. Ceará. *Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente*, p. 132-154. 2006.
- Pejrup, M. *The triangular diagram used for classification of estuarine sediments a new approach*, p. 289-300 in Boer, P.L.; van Gelder, A. & Nio, S.D. (eds.), *Tide-influenced sedimentary environments and facies*. D. Reidel, Dordrecht. P.289-300. 1988.
- Pinheiro, L. S. & Moraes, J. O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. *Sociedade & natureza (UFU. Online)*, v. 22, p. 237-250, 2010.
- Pinheiro, L. S.; Medeiros, C. & Moraes, J. O. Erosive processes monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby Águas Belas, Cascavel-CE, Brazil. *J. Coast. Res.*, p. 1403-1406. 2006.
- Robins, PE; Davies, AG. Morphological controls in sandy estuaries: the influence of tidal flats and bathymetry on sediment transport. *Ocean Dynamics*, v. 60, n. 3, p. 503-517, 2010.
- Rodrigues, S.W.P. *Deteção de mudança e sedimentação no estuário do Rio Coreau*. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, 124 p., 2014.
- Silva, D.M. *Estudo da morfodinâmica e morfologia de fundo da desembocadura do estuário do rio Coreau, Camocim, Ceará*. Monografia de Graduação, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará., 57 p., Fortaleza, 2013.
- Suguio, K. *Introdução à sedimentologia*. Edgard Blucher, 317 p., São Paulo, 1973.