



Morfologia da calha principal do estuário Curimataú/RN, Nordeste, Brasil

Flavo Elano Soares de Souza; Venerando Eustáquio Amaro; Helenice Vital e Carlos Augusto Ramos e Silva, UFRN, Brasil

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

O estuário do rio Curimataú é o mais proeminente da porção sul do litoral oriental do Rio Grande do Norte. Em suas margens se dá o desenvolvimento de importantes atividades econômicas como a carcinicultura e a indústria canavieira. A batimetria é uma das ferramentas básicas para compreensão de muitos processos estuarinos. Objetivando analisar a geometria e a morfologia da calha principal do estuário Curimataú, foram realizados perfis batimétricos longitudinais e transversais à calha. A eco-sonda utilizada foi a da marca *Odom* modelo *Hydrotrac*, operando na frequência de 200 kHz. A geração do Modelo Digital Batimétrico (MDB) foi obtida através de interpolação pelo método de krigagem. A malha de pontos interpolados ainda sofreu prévia correção da variação de maré. Com o fim de realçar a morfologia da calha do estuário produziram-se blocos-diagramas permitindo assim a compartimentação geomorfológica a partir do MDB gerado. A calha principal do estuário Curimataú possui largura entre 250 m e 500 m e profundidade média de 7 m. As principais morfologias encontradas consistiram em bancos, barras, canais de marés e franjas.

Introdução

Geralmente, define-se estuário como o lugar de encontro da drenagem continental com o mar. De acordo com PRITCHARD (1967), trata-se de um corpo de água costeiro semifechado, com livre comunicação com o mar no qual a água salgada é diluída com a água doce oriunda da drenagem continental. Com o aprofundamento dos estudos acerca dos estuários, surgiram novas definições com base em critérios geomorfológicos, tendo FAIRBRIDGE (1980) definido os estuários como morfologias que ocupam um vale fluvial até o limite superior da ação da maré.

Apesar de serem morfologias decorrentes da última transgressão marinha, a cerca de 15 a 18 mil anos atrás, os estuários têm se revelado morfologicamente em estruturas mais complexas. Isto ocorre devido as diferentes formas de interação dos fluxos de energia gerados pelas ondas, marés e descarga fluvial no interior dos estuários (MIRANDA et al., 2002).

A análise de dados batimétricos é uma das ferramentas fundamentais para o estudo de morfologias, seus padrões morfodinâmicos de sedimentação e erosão,

como de circulação estuarina (GORMAN et al., 1998). Neste trabalho foi realizado um levantamento batimétrico através de eco-sonda da marca *Odom*, modelo *Hydrotrac*, na frequência de 200kHz, objetivando analisar a geometria e a morfologia da calha principal do estuário Curimataú.

Área de Estudo

A área de estudo está localizada entre os paralelos 06°11' e 06°30' de latitude sul e os meridianos 34°57' e 35°20' de longitude oeste, compreendendo a porção sul da faixa costeira do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, na altura dos Municípios de Vila Flor, Canguaretama e Baía Formosa (Figura 1). O acesso à área é feito através da rodovia BR-101 e, posteriormente, pela estrada vicinal RN-269 que liga a cidade de Canguaretama ao distrito de Barra de Cunhaú.

As principais feições geomorfológicas encontradas constituem-se em superfícies de tabuleiros aplainadas, dispostas desde as falésias costeiras recobertas por dunas até o interior do continente nas altitudes inferiores a 150 m. Os rios da região dissecam toda a superfície dos tabuleiros formando vales, baixios e alagadiços que são colonizados pela vegetação de várzea e os manguezais. Este último ecossistema ocorre até os limites das penetrações das marés nos rios, sendo estas semidiurnas e com variação máxima em torno de 2,6 m.

O vale do rio Curimataú conforma-se encaixado na direção NE sendo o mais proeminente da região, onde a planície flúvio-marinha é delimitada por vertentes abruptas entalhadas nos tabuleiros costeiros. A calha do rio forma meandros chegando em alguns pontos a ter inflexões em ângulos de 90°, retornando a sua direção NW-SE. Isto ocorre devido a geomorfologia da área ser condicionada ao controle estrutural, onde os vales são escalonados em *horst* e *graben*, influenciando as morfologias das drenagens, contatos geológicos e escarpas costeiras (BEZERRA et al., 2001).

O clima da região é descrito como tropical sub-úmido com uma estação seca na primavera-verão e uma estação chuvosa no outono-inverno. A estação seca vai de setembro a dezembro. A estação chuvosa tem início em março e se prolonga até julho, com precipitação média de 1.400 mm/ano podendo chegar a máxima de 2.800 mm/ano ou a mínima de 340 mm/ano (EMPARN, 2003).

A temperatura média anual é de 25°C, com uma umidade relativa do ar oscilando entre 70 a 80%. A influência dos alísios do sudeste, frescos e úmidos, é percebida na área durante todo o ano oscilando sua velocidade de 8 m/s a 10 m/s de acordo com a estação e direção NW predominante, sendo responsáveis pelos mais altos índices de pluviometria do litoral oriental do Rio Grande do Norte (RADAMBRASIL, 1981).

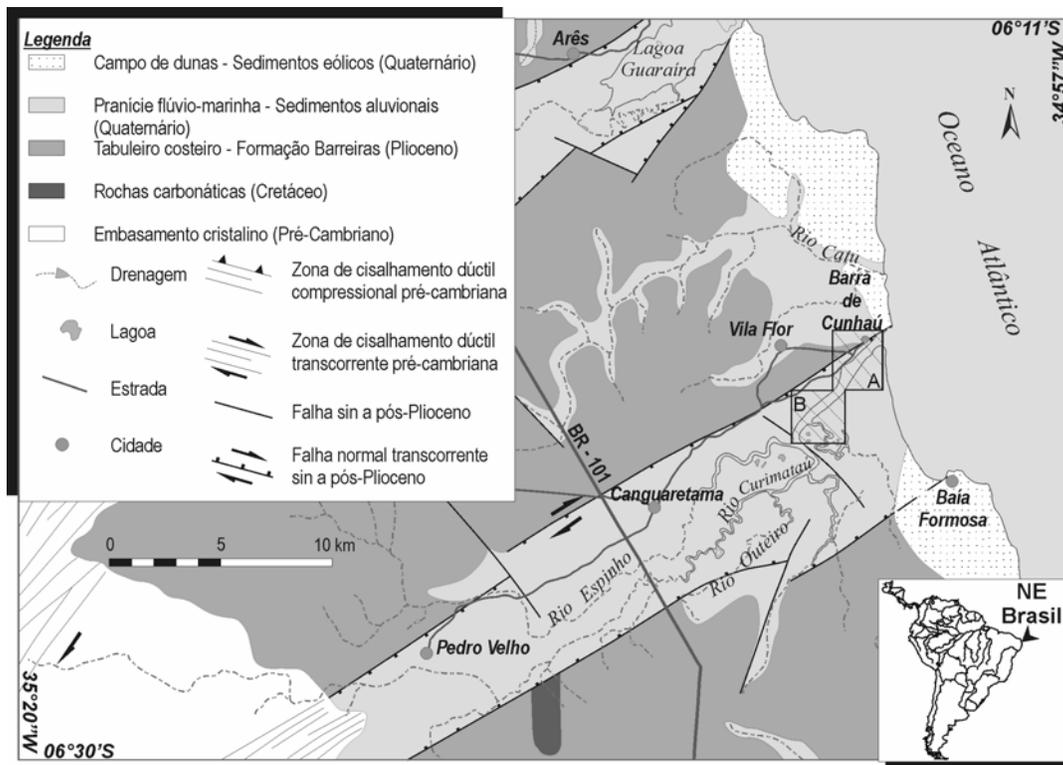


Figura 1 – Mapa geológico-geomorfológico da área de estudo situando a calha principal do estuário Curimataú em A e B. Modificado de BEZERRA ET AL. (2001).

As atividades econômicas principais são a carcinicultura, localizada às margens do estuário Curimataú e Catu, e a agroindústria canaveira que ocupa boa parte da área dos tabuleiros e encosta dos vales da região (BRASIL/DEPAQ, 1997). Um dos impactos ambientais que tem chamado a atenção na região é a destruição das áreas de manguezais para dar lugar às fazendas de camarão. Com efeito, a população ribeirinha que retira parte de seu sustento da floresta de manguezal, passa a ser mais ainda marginalizada, tanto pela atividade de carcinicultura como pela especulação imobiliária pressionada pela atividade turística (SILVA, 2000).

Materiais e métodos

O levantamento de dados batimétricos foi realizado em 29/10/2002 utilizando o ecobatímetro da marca *Odom* modelo *Hydrotrac*, operando na frequência de 200 kHz, com resolução de 0,01 m de profundidade, acoplado ao Sistema de Posicionamento Global – GPS (*Global Positioning System*) de marca *Furuno* modelo *GP-31*. A correção de posicionamento na ordem de 1 a 3 m foi obtida por meio de rádio-DGPS (*Differential - GPS*) modelo *GR-80* da marca *Furuno* acoplado ao GPS do registrador (Figura 2). Os equipamentos foram instalados em embarcação de baixo calado (1,0 m) para permitir a navegação ao longo de perfis longitudinais e transversais à calha principal do estuário.

A velocidade da embarcação não excedeu 4 nós ou a 8 km/h para evitar a perda do sinal de retorno para o sensor. O registrador imprimiu o perfil batimétrico sobre

um papel térmico do tipo bobina de fax, sendo a cada minuto do percurso, registradas informações sobre as horas, minutos e segundos de cada profundidade medida em metros, como de suas coordenadas geográficas em décimo de grau de latitude e longitude com base no *datum* WGS 84. Concomitante ao registro analógico, o registrador também gerou um arquivo digital com os mesmos dados impressos. No início da sondagem o registro continha dados sobre a calibração do sensor, inclusive a profundidade deste em relação a embarcação, compensando automaticamente a profundidade medida pelo sensor (Figura 3).

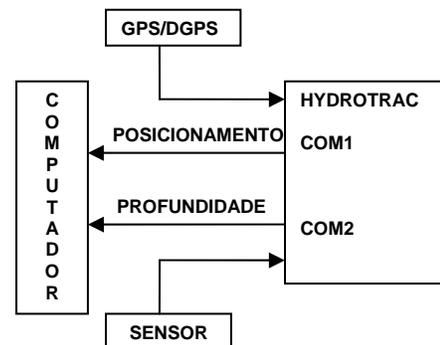


Figura 2 - Sistema de aquisição de dados batimétricos que trata do registrador de profundidades, GPS e DGPS para posicionamento (ODOM HYDROGRAPHIC SYSTEMS, 1999).

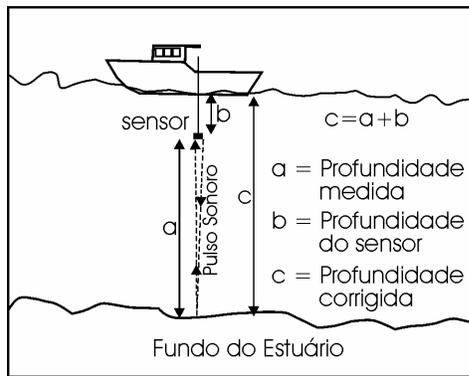


Figura 3 – Correção da profundidade medida em relação à profundidade do sensor (VITAL et al., 2001).

O Modelo Digital Batimétrico (MDB) foi gerado a partir do arquivo digital com os referidos dados de posicionamento, profundidade e hora de coleta, onde posteriormente procedeu-se a correção da profundidade dos pontos registrados em relação a variação de maré do período de sondagem. Esta etapa de processamento de correção dos dados batimétricos brutos foi obtida através do programa de previsão de marés PACMARÉ (FRANCO,2000). Devido a ausência de estação maregráfica no estuário Curimataú, a referência de nível adotada para a construção do MDB como das previsões de maré foi o zero hidrográfico da estação maregráfica do Porto do Natal/RN, sendo a mais próxima da área de estudo, situada a cerca de 60 km a norte.

Com os pontos corrigidos da variação de maré procedeu-se a construção de uma planilha relacionando o par de coordenadas e a profundidade de cada ponto (x, y, z). A referida planilha foi plotada em meio digital constituindo uma grade (*grid*) sobre uma carta-base georreferenciada, a qual correspondeu a carta topográfica da SUDENE, Folha São José de Mipibú, escala 1:100.000 (SUDENE, 1970). Esta etapa foi apoiada por uma ferramenta computacional de modelagem de superfícies contínuas *Surfer v.7.0*, onde se digitalizou as margens do estuário para delimitação da malha de pontos (GOLDEN SOFTWARE, 2001).

A modelagem foi realizada interpolando os pontos da grade gerada pelo método isotrópico de *krigagem*, utilizando-se o espaçamento de 100 m, correspondente ao intervalo entre um ponto medido e o seguinte, como também da distância entre as seções transversais. Extraiu-se de cada modelo gerado curvas ou isóbatas de 1 m de intervalo que foram sobrepostas à malha de pontos coletados de forma que estes, ajustados manualmente, correspondessem aos contornos das formas de fundo do estuário verificadas ao longo dos registros da sondagem batimétrica. Ainda, visando detalhar a morfologia da calha principal do estuário, produziu-se blocos-diagramas a partir do MDB gerado, permitindo a visualização das feições em 3D para a compartimentação geomorfológica do estuário.

Resultados e discussão

Com base no MDB produzido, verificou-se que as maiores profundidades da calha principal do estuário Curimataú se localizaram próximas da foz, cerca de 11,0

m, como na região próxima da confluência do rio Espinho (conhecido na localidade como rio Cunhaú) com o rio Curimataú, cerca de 12,0 m (Figura 4). Estas profundidades estão associadas a vórtices e a fluxos turbulentos gerados por correntes de marés e ondas na foz, como pelo encontro de correntes de maré vazante na área de confluência dos canais. As profundidades médias variaram em torno de 6,0 a 7,0 m. A largura da calha principal é de 250 m, tanto próximo da foz quanto na confluência com o rio Cunhaú, e de 500 m na sua porção intermediária. A extensão da calha principal do estuário é de cerca de 7,0 km.

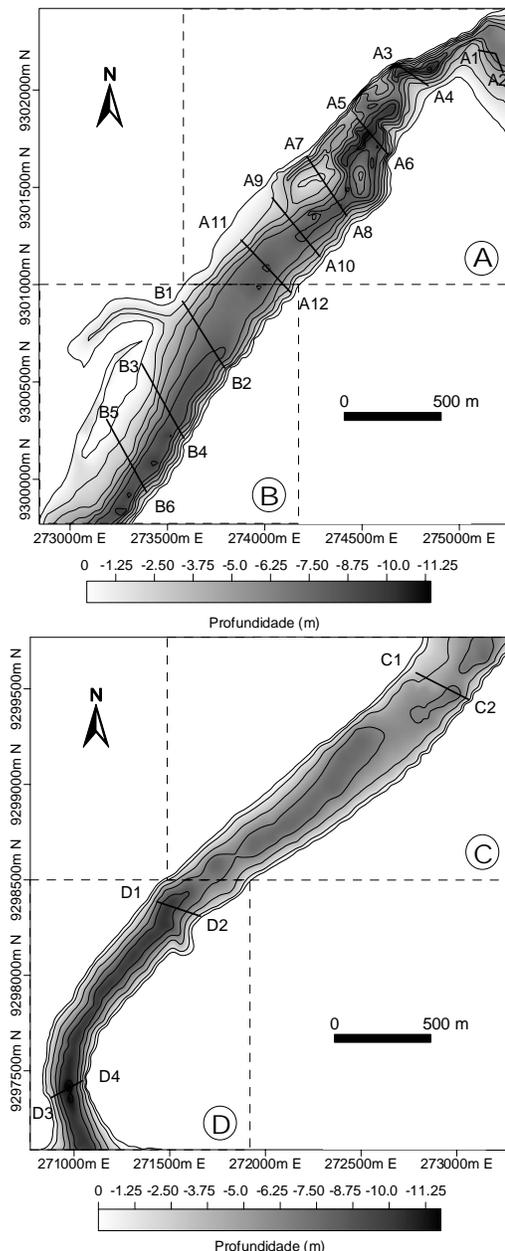


Figura 4 – Modelo Digital Batimétrico da calha principal do estuário Curimataú do trecho próximo à foz (A e B), e da parte próxima à confluência com o rio Cunhaú (C e D), com indicação dos perfis transversais.

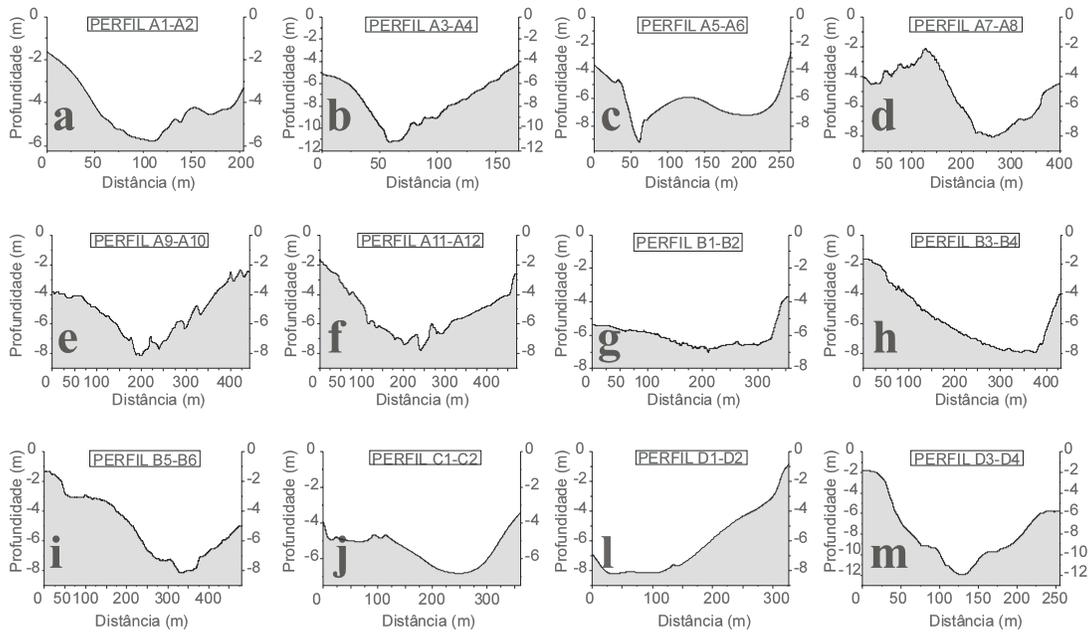


Figura 5 – Perfis transversais à calha principal do estuário Curimataú com localização na figura anterior.

Em relação aos perfis transversais à calha do estuário, verificou-se a disposição do canal de maré enchente e vazante na foz próximo à margem direita do estuário (Figura 5, “b” e “c”). Esta disposição é característica de estuários dominados por maré vazante, onde a força de coriolis no hemisfério sul atua no sentido horário. Por outro lado a dissipação de correntes mais intensas na foz do estuário promove a deposição de sedimentos na margem esquerda formando bancos e barras (Figura 5 “a”).

À medida que se adentra à calha principal do estuário o canal de maré passa a migrar para a margem esquerda, tornando-se mais raso e aumentando a sua largura (Figura 5, “d”, “e” e “f”). Esta morfologia do canal passa a ser caracterizada por feições como bancos, pequenas barras

e franjas que, junto ao aumento da largura do canal, estão associadas a fluxos de menores intensidades.

Em direção à confluência dos rios Curimataú e Cunhaú, na porção intermediária da calha principal do estuário, o canal de maré continua próximo à margem esquerda, mas associado somente às feições de franjas e com ausência de barras e bancos, continuando largo e raso (Figura 5 “g”, “h”, “i” e “j”).

Próximo à confluência dos rios Curimataú e Cunhaú, o canal de maré torna-se mais próximo à margem direita (Figura 5, “l”), e em seguida passa a posição central da calha principal, tornando-se mais estreito e profundo (Figura 5, “m”). Nessas porções interiores os canais continuam ainda associados às morfologias de franjas, no entanto sujeitos a maiores intensidades de correntes de maré e a descargas fluviais sazonais.

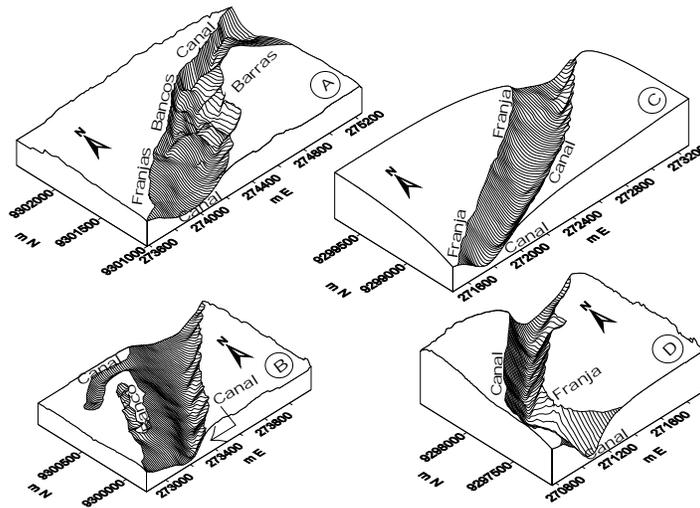


Figura 6 – Bloco-diagramas detalhando as feições encontradas na calha principal do estuário Curimataú.

As feições da calha principal realçadas nos blocos-diagramas permitiram a compartimentação geomorfológica da calha em estuário inferior, médio e superior de acordo com os critérios de FAIRBRIDGE (1980). O estuário inferior refere-se a zona que possui ligação com o mar aberto. O estuário médio é onde ocorre a mistura da água doce com a salgada, e o estuário superior é caracterizado pela existência de água doce, mas ainda sujeita a ação das marés. De acordo com (DALRYMPLE et al., 1992) os gradientes de mistura das águas fluviais e marinhas no estuário se refletem na composição e textura do material sedimentar como nas morfologias de fundo.

Deste modo, as feições referentes a bancos e barras na desembocadura do estuário Curimataú delimitaram a zona do estuário inferior (Figura 6, "a") por se tratarem de morfologias geradas por correntes de maré e ondas, respectivamente, refletindo o domínio da hidrodinâmica marinha. A porção intermediária da calha principal, composta de bancos, pequenas barras e franjas, refletiram nestas morfologias o domínio das correntes de maré de menores intensidades, constituindo a zona do estuário médio (Figura 6, "b" e "c"). O estuário superior (Figura 6, "d") consistiu na área próxima a confluência com o rio Cunhaú, associadas somente às feições de franjas, com morfologia do canal mais estreito e profundo refletindo um domínio de descargas fluviais sazonais.

Conclusões

A sondagem batimétrica realizada na calha principal do estuário Curimataú permitiu a geração do Modelo Digital Batimétrico, utilizando o método de interpolação por *Krigagem*. Deste modo, foi possível a obtenção das propriedades morfométricas da calha do estuário como largura, comprimento e profundidade.

As principais morfologias encontradas no estuário Curimataú consistiram em bancos, barras, canais de marés e franjas. Tais morfologias realçadas em blocos-diagramas e nos perfis transversais refletiram os gradientes de mistura das águas fluviais e marinhas no estuário possibilitando a sua compartimentação geomorfológica. Contudo, essa compartimentação está sujeita as variações sazonais das descargas fluviais como aos períodos de maiores e menores intensidades de correntes de marés.

Futuras sondagens batimétricas podem detectar a influência das variações sazonais nos limites das zonas do estuário como nas suas morfologias peculiares, sendo então objeto de pesquisas relativas a morfodinâmica de ambientes estuarinos.

Referências bibliográficas

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI; SAADI, A.,2001, Pliocene-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain Morphology in NE Brazil. *Journal South American Earth Sciences*. v.14, p.61-75.

BRASIL. DEPAQ - Departamento de Pesca e Aqüicultura ,2001, Plataforma Tecnológica do Camarão Marinho

Cultivado. Brasília (DF):MAPA/SARC/DPA/CNPq./ABCC, 276p.

DALRYMPLE, R.; ZAINTE, B.; BOYD, R. ,1992, Estuarine Facies Model: Conceptual Basis and Stratigraphic Implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62, 6, p 1130-1146.

EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN). ,2003, Boletins de Precipitação – Estação Canguaretama. Séries 1911 a 2003.

FAIRBRIDGE, R. ,1980, The Estuary: Its Definition and Geodynamic Cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (eds). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. John Wiley & Sons, Chichester, p.1-35.

FRANCO, A. S. ,2000, PACMARÉ – Programa para Previsão e Análise de Marés. Cotia (SP), Brasil.

GOLDEN SOFTWARE ,2001, SURFER v. 7.04. :(Surface Mapping System) , Golden, Colorado (USA).

GORMAN, L; MORANG, A.; LARSON, R. ,1998, Monitoring the Coastal Environment; Part IV: Mapping, Shoreline Changes, And Bathymetric Analysis. *Journal of Coastal Research*, 14 (1), 61-92.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. ,2002, Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 411p.

ODOM HYDROGRAPHIC SYSTEMS, 1999, Installation and operation handbook. Baton Rouge, Louisiana, USA.

PRITCHARD, D. W. ,1967,. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: Estuaries, LAUFF, G. H. (ed). Amer. Assoc. for the Advancement of Science, Washington, p.3-5.

RADAMBRASIL ,1981, Levantamento de Recursos Naturais – Geologia/Geomorfologia/Pedologia/Vegetação/Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. v. 23 – Folhas SB. 24/25 – Jaguaribe /Natal, 740p.

SILVA, A. F.,2000, O Zonamento Ecológico-Econômico como Instrumento de gestão do Território: o caso do estuário Curimataú/Cunhaú (RN) e seu entorno. Rio de Janeiro/RJ: Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Tese de Doutorado).

SUDENE ,1970, Carta Topográfica - Folha São José de Mipibú - SB. 25-Y-A-II, escala 1:100.000. Min. Exerc. 3ªDiv. de Levant. :Recife (PE).

VITAL, H.; OLIVEIRA, A. M.; TABOSA, W. F. ,2001, Caracterização de Padrões de Forma de Fundo da Foz do Rio São Francisco. *Pesquisas em Geociências*. 28 (2):121-125.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto FNMA 09-00/UFRN e ao Projeto Cooperativo PETRORISCO (Rede PETROMAR – CTPETROFINEP/PETROBRAS/CNPq) pelo suporte financeiro.