

EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA PLANÍCIE COSTEIRA DE ICAPUÍ, EXTREMO LESTE DO CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL¹

Antonio Jeovah de Andrade MEIRELES²

Ana Maria Ferreira dos SANTOS³

Resumo

Ao longo da planície costeira de Icapuí foi definido um conjunto morfológico representado por terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, dunas móveis e fixas, falésias vivas e mortas, estuários (canais de maré, manguezal e planícies hipersalinas), lagoas costeiras, laguna, delta de maré e praias arenosas e rochosas. A integração destes componentes para a elaboração do modelo evolutivo proposto foi realizada com suporte nas flutuações do nível relativo do mar e mudanças climáticas, com os eventos regressivos e transgressivos registrados com base na análise morfológica, depósitos associados e datações radiométricas. Com a dinâmica imposta pelas derivas litorânea e eólica dos sedimentos, formação de flechas e esporões de areia decorrente da ação das ondas e marés e progradação dos terraços e sistemas estuarinos, foram compostos os eventos morfogenéticos relacionados com a evolução quaternária, agrupada em 5 (cinco) estádios. Foram iniciados com a formação das falésias mortas (em máximos transgressivos), disponibilidade de sedimentos para o desenvolvimento de 3 (três) gerações de dunas e concluído com a evolução atual do delta de maré e faixa de praia, conjuntamente com a progradação dos estuarinos. Os dados básicos levantados foram de fundamental importância para a realização de estudos vinculados ao planejamento e gestão de um dos setores mais complexos da planície costeira cearense.

Palavras-chave: Geomorfologia costeira. Variação do nível relativo do mar. Mudanças climáticas e evolução de planícies costeiras.

Abstract

Geomorphological evolution of the coastal plain of Icapuí, east of Ceará, Northeast Brazil

Along the coastal plain of *Icapuí* (State of *Ceará*, Northeastern Brazil), were defined characteristics of the geomorphological components represented by Holocene and Pleistocene marine terraces, mobile and fixed dunes, cliffs, coastal lagoons, estuaries and delta, sandy and rocky beaches. The integration of these components for the development of the model proposed rolling was done with support fluctuations in the relative sea-level and climate change, with the regressive and transgressive events recorded on the basis of morphological analysis. With the dynamics imposed by longshore drift, marine terrace progradation and estuarine systems, the compounds were morphogenetic events related to developments Quaternary, grouped into five (5) stadiums. We started with the formation of cliffs (in maximum transgression), availability of sediment to the development of three (3) generations of dunes and concluded with the development of the ebb-delta. A local model was elaborated to be used an important instrument of technical and scientific subsidies for the planning and administration of the coastal zone.

Key words: Coastal geomorphology. Relative sea-level and climate change. Evolution of coastal plains.

¹ Trabalho patrocinado pela Petrobras através do Programa Petrobras Ambiental com o projeto "De Olho na Água" realizado pela Fundação Brasil Cidadão (FBC) em parceria com o Depto. de Geografia da UFC e Programa de Pós-graduação em Geografia/UFC.

² Professor Associado do Departamento de Geografia da UFC e do Programa de Pós-graduação em Geografia/UFC. Bolsista Produtividade do CNPq. Campus do Pici, Bloco 911, 60455-760 – Fortaleza/CE. Tel: (5585) 3366 9855 Fax: (5585) 3366 9864. E-mail: meireles@ufc.br

³ Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia/UFC, doutoranda pelo mesmo Programa. Analista técnica de Geoprocessamento e SIG na Secretaria de Infraestrutura e Urbanismo de Caucaia. Rodovia CE-085 nº 1076, Fazenda Soledade, Caucaia-CE, 61.600-000. Tel.: (85)3342.8131/ Fax: (85)3342.8066. E-mail: amariafs@gmail.com

INTRODUÇÃO

A planície costeira de Icapuí é constituída por um complexo conjunto de unidades morfológicas, decorrentes das mudanças do nível relativo do mar e flutuações climáticas durante o Quaternário. Foi analisada tomando como base a composição de mapas geoambientais e a definição dos principais fluxos de matéria e energia geradores das formas representativas dos eventos eustáticos. Foram caracterizadas morfologias - terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, gerações de dunas, lagoas, laguna, estuários, falésias vivas e paleofalésia, faixa de praia e delta de maré - representativas dos eventos trans-regressivos. Em um setor central da planície, referidas morfologias foram integradas para a elaboração de um modelo evolutivo.

Os terraços marinhos foram tomados como constituintes morfológicos da planície que registraram os dois últimos eventos transgressivos e regressões subsequentes, inseridos entre uma paleofalésia com aproximadamente 30 km de extensão e o delta de maré (*ebb delta*), que também evidenciou as oscilações do nível relativo do mar. Datações radiométricas (conchas de bivalves), sondagens que definiram as fácies sedimentares de antigos níveis de praia (terraços) e a delimitação de níveis escalonados de plataforma de abrasão marinha, proporcionaram a definição das cotas do mar nos máximos transgressivos (MEIRELES et al., 2005).

A gradação lateral entre os terraços marinhos e as demais morfologias deste setor central da planície costeira, principalmente entre a laguna, estuário e delta de maré, evidenciou que os fluxos de matéria e energia foram de fundamental importância para sua diversidade morfológica. Foi com esteio na definição destes agentes morfogenéticos - derivas litorânea e eólica, hidrodinâmicas lagunar, estuarina e lacustre, ação da gravidade (encosta das falésias), das ondas e marés e fluxo de água subterrânea - que o modelo de evolução proposto foi sistematizado.

Como síntese dos eventos morfológicos definidos e suas formas associadas, utilizou-se a evolução do delta de maré. Seus componentes foram agrupados em dois setores, aqui definidos como emerso e submerso. Foram associados com a ocorrência de flechas de areias (desde a progradação dos terraços marinhos pleistocênico e holocênico), com origem no contato com a linha de falésia morta. O contato entre os setores submerso e emerso, com uma superfície areno-argilosa, mostrando evidências de antigos canais de maré atualmente tomados por uma complexa rede de algas, evidenciou o início do setor de pró-delta, relacionado com os últimos eventos transgressivos.

Com a integração das unidades morfológicas, definição altimétrica em relação ao nível do mar atual, caracterização das fácies sedimentares e datações radiométricas, foi proposto um modelo de evolução para a planície costeira em estudo. É evidente que, quando se efetuam reconstruções de antigos níveis marinhos, esses se referem a posições relativas e não absolutas (SUGUIO et al., 1985). Com assento destas evidências, os indicadores morfológicos de dois níveis do mar mais elevados foram definidos, de acordo com medidas locais, tomando como base o nível atual do mar.

Os eventos que contribuíram para as variações do nível relativo do mar refletem um complexo conjunto de processos geoambientais. Foram relacionados com diversas causas, basicamente associadas com movimentos tectônicos, sedimentação do piso oceânico, isostasia (glácio, hidro e sedimentar), topografia do fundo oceânico, movimentos geoidais, glaciações, mudanças climáticas, falhas geológicas, compactação sedimentar e subsidência, marés, tsunamis e ondas (BRUUN, 1962; GOUDIE, 1983; LOWE; WALKER, 1984; EMERY; UCHUPI, 1984; PIRAZZOLI, 1989).

Pesquisas realizadas na costa leste e nordeste do Brasil por Bigarella (1971 e 1975), Martin et al. (1998), Dominguez et al. (2006), Suguio et al. (1985), nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia, Sergipe e Alagoas, ressaltaram a influência das variações relativas do nível do mar, bem como os mecanismos de sedimentação.

Estudos realizados por Angulo e Lessa (1997) e Lessa e Angulo (1998), evidenciaram níveis do mar mais baixos do que os registrados por Martin et al. (1998) para a planície costeira do Paraná. Propuseram uma curva elaborada com datações de vermitídeos (organismos marinhos característicos da zona de praia), que não evidenciou as oscilações secundárias. Martin et al. (1998) ressaltaram que este tipo de curva, constituída somente com um tipo de indicador, não permite registrar oscilações de curta duração, as quais constituem característica fundamental de fenômenos naturais. Para esses autores, o último evento regressivo foi interrompido por oscilações de alta frequência, com amplitudes de 2 a 3 m e duração de aproximadamente 300 anos. Os indicadores existentes na planície costeira cearense parecem confirmar eventos oscilatórios do nível do mar, principalmente durante a última fase regressiva, que iniciou há 5.100 anos A.P. (Antes do Presente).

A caracterização dos componentes geoambientais da planície costeira e, em escala de detalhe, do banco de algas (delta de maré), fundamentou ações de Educação Ambiental para a sustentabilidade, orientou projetos de exploração sustentável dos recursos naturais (mariscagem e cultivo de algas) e potencializou a biodiversidade das áreas úmidas associadas.

METODOLOGIA

Foram realizados trabalhos relacionados com mapeamentos geológico e geomorfológico, perfis topográficos, análises sedimentológicas, definição altimétrica dos terraços marinhos, sondagens (*vibracore*) distribuídas em distintas unidades morfológicas e datações radiométricas em conchas amostradas em terraços marinhos (MEIRELES; RUBIO, 1999 e MEIRELES et al., 2005).

A coleta de dados referente às fácies sedimentares e amostragem de material para datações radiométricas (Carbono 14) foi realizada através de sondagens tipo *vibracore* distribuídas em distintas unidades morfológicas (MEIRELES; RUBIO, 1999). A granulação dos sedimentos se estabeleceu através de COULTER LS-100, com os dados estatísticos analisados através do *software Grapher* 9.0. Os testemunhos foram amostrados a cada 5 cm totalizando 240 análises sedimentológicas. Diferentes níveis de sedimentos (principalmente os relacionados com os terraços marinhos e o delta de maré) foram analisados com microscópio eletrônico de varredura lateral (MEV), modelo S2300 Hitachi-8 kw pertencente ao Serviço Científico da Universidade de Barcelona. Assim, foram obtidos dados relacionados com a classificação e morfologia superficial dos grãos de quartzo e do conteúdo biotritico.

Atividades de gabinete e de campo, relacionadas com a elaboração de mapa geomorfológico, foram auxiliadas por fotografias aéreas (1959) e imagens de satélite (*Quickbird*, 2005, resolução de 0,60 m). Os pontos de coleta de dados foram georreferenciados, principalmente durante os trabalhos no delta de maré e terraços marinhos (GPS de campo modelo *Grain* 12 SAD 69 e geodésico Modelo *Promark* 3), aliados à descrição de seus aspectos ambientais e morfologias em escala de detalhes (flechas de areia, canais de maré e níveis escalonados de plataforma de abrasão marinha). Estas atividades também proporcionaram um registro fotográfico da diversidade ambiental e de parte das atividades socioeconômicas desenvolvidas na área do projeto.

Para a definição dos fluxos de matéria e energia, foram utilizados os componentes morfológicos da planície costeira, composição e classificação das estruturas sedimentares nos testemunhos realizados nos terraços marinhos, laguna e delta de maré e a direção preferencial das ondas, marés, ventos e hidrodinâmica estuarina. Foram também relacionados com a direção preferencial de migração das dunas e fisiografia regional da linha de costa.

É importante salientar que os termos *sistema e unidade ambientais* foram utilizados para evidenciar elementos espaciais - escala regional associado à planície costeira e localmente às unidades morfológicas cartografadas - caracterizados constituintes geomorfológicos complexos, interconectados através dos fluxos de matéria e energia e vinculados aos diversos usos e formas de ocupação distribuídos ao longo do litoral em estudo (MEIRELES; RUBIO, 1999; NICHOLLS, et al., 2007).

COMPONENTES MORFOLÓGICOS E ASPECTOS GEOAMBIENTAIS LOCAIS

A planície costeira de Icapuí está localizada no extremo leste do litoral cearense (Figura 1). Ao serem analisadas as cotas batimétricas, desde a plataforma continental ao talude, foram verificadas fisionomias associadas a antigos níveis de base, atualmente submersos e relacionados a linhas de costa durante as fases transgressivas e regressivas no nível do mar. O contorno das cotas batimétricas de 5 e 10 m pode estar relacionado com antigas linhas de praia atualmente submersas. De acordo com Dominguez e Bittencourt (1996), as curvas de variação do nível relativo do mar mostram que, após o máximo de 5.100 anos A.P. o nível do mar não desceu de maneira regular. Esta descida foi interrompida por duas importantes oscilações de alta frequência que ocorreram em 4.200-3.600 e 2.900-2.400 anos A.P. Ao longo da planície costeira cearense, Meireles et al., 2005, evidenciaram, mediante estudos morfológicos dos campos de dunas e níveis escalonados de plataforma de abrasão marinha, variações do nível relativo do mar de alta frequência.

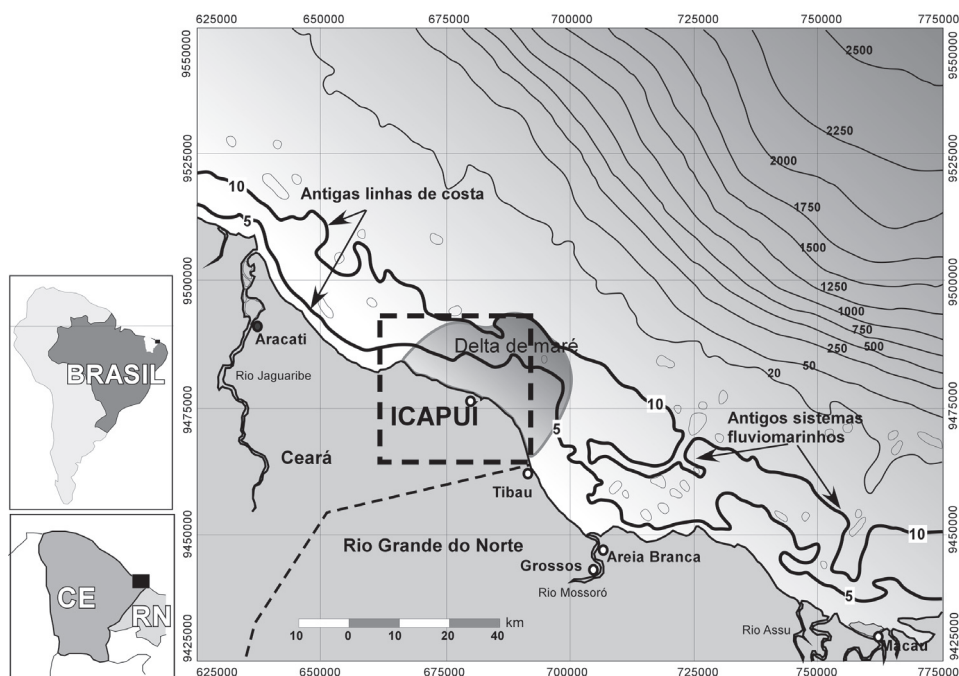


Figura 1 - Localização regional da área de estudo incluindo o delta de maré e as cotas batimétricas da plataforma e talude. Evidenciar as cotas de 5 e 10 m indicando antigas linhas de praia (modificada da Carta Náutica 700, Marinha do Brasil, escala original 1:316. 220)

A dinâmica evolutiva proposta para a planície costeira de Icapuí foi caracterizada pela identificação e análise dos indicadores paleogeográficos e paleoclimáticos (reconstrução dos antigos níveis marinhos), registrados fundamentalmente em dois conjuntos de terraços marinhos associados ao estuário Barra Grande e, na plataforma continental interna, ao delta de maré.

O contato erosivo entre um depósito sedimentar pliopleistocênico com características estruturais e mineralógicas tipicamente continentais (Formação Barreiras), com depósitos sedimentares mistos (estuarino e lagunar) e marinho/costeiro (praia e delta de maré) demarca o limite continental da planície costeira. Esse contato foi delimitado morfológicamente por uma linha de falésia morta (paleofalésia, falésia fóssil) com aproximadamente 30 km de extensão, escarpas com altitude média de 15 metros e sentido sudeste-noroeste (Figura 2). A paleofalésia evidencia o limite do nível do mar durante a penúltima transgressão (SUGUIO et al, 1985) de onde, com o início do evento regressivo subsequente, é iniciada a composição das formas litorâneas atualmente dispostas na planície costeira. Como evidência morfológica restaram antigos níveis de praia dispostos nas proximidades da paleofalésia, denominados de terraço marinho pleistocênico.



Figura 2 - Falésia morta (paleofalésia, falésia fóssil) delimita o contato morfológico com as demais unidades da planície costeira de Icapuí. Ao fundo, os terraços marinhos e o estuário Barra Grande

Fonte: J. Meireles (2007).

O estuário Barra Grande nasce no sopé da falésia, de onde, associado aos terraços marinhos, recebe água doce para a composição dos níveis de salinidade e nutrientes que acabaram por gerar um depósito paludal. Trabalhos realizados por Fairbridge (1980), Dalrymple et al. (1992) e Perillo (1995), que trataram de uma revisão de conceitos e propostas de classificação de estuários, incluíram características e processos (evidenciados na planície costeira de Icapuí), relacionados com a contribuição de água doce oriunda do aquífero na diluição da água salgada proveniente das ondas e marés que penetram canais ao longo da zona costeira. Desta forma, com a progradação da linha de costa formando os terraços marinhos, o sistema estuarino, relacionado com a evolução do delta de maré, originou-se de eventos eustáticos. Sem a presença de um canal fluvial a montante e sim ao exutório de água doce das falésias fósseis que demarcaram o limite de ascensão do mar durante a penúltima transgressão marinha, o estuário Barra Grande comporta-se como importante indicador das variações do nível relativo do mar para a costa leste cearense.

A última sequência de esporões de areia nas margens do estuário Barra Grande limita-se, ao norte, com o delta de maré, o que pode evidenciar uma relação estreita entre a dinâmica de construção da planície durante o último evento regressivo e o desenvolvimento do delta de maré: no decurso de eventos de mínima vazão do estuário, os esporões fecharam o canal (originando uma fase lagunar, a exemplo do que ocorreu em outras áreas do litoral brasileiro, segundo Domingues et al., 1983) o qual, posteriormente, foi aberto mediante a contribuição do fluxo de água doce em eventos de máxima vazão associados às contri-

buições do lençol freático e do sistema morfológico lagunar/lacustre originado. Caso a sequência de 9 esporões de areia (desde o contato com a falésia morta até a faixa de praia atual) tenha evoluído desta forma, a abertura sequenciada do canal estuarino, por intermédio do rompimento das flechas de areia, produziu uma excelente fonte (espasmódica) de sedimentos, que contribuiu com o desenvolvimento do delta de maré. Como este processo foi associado à fase regressiva, estes materiais recobriram depósitos originados no evento transgressivo anterior e depositados sobre o pró-delta. Fragmentos de flechas de areia isolados, dispersos e sobre a planície de maré, registraram indícios de rompimentos dos esporões arenosos.

O terraço marinho pleistocênico, disposto na área central e mais interna da planície, nas proximidades da sede de Icapuí, com uma altitude de até 8 m acima do nível atual do mar, está posicionado no sopé da paleofalésia. Encontra-se praticamente extinto, pois foi utilizado para a construção de viveiros de camarão e ampliação das salinas. A granulação das areias apresentou uma variação entre grossa e média, com a coloração variando entre cinza-claro na superfície e marrom-escuro desde de 0,5 m de profundidade. A não-ocorrência de fragmentos de conchas em subsuperfície pode estar relacionada à dissolução do carbonato (conchas de bivalves e moluscos) pelos ácidos húmicos.

Sua relação topográfica com a linha de falésia morta, as propriedades sedimentológicas do pacote arenoso e a drenagem superficial caracterizaram esta unidade como excelente aquífero e, em associação às condições climáticas atuais e oscilações diárias da maré, vincula-se à dinâmica geoambiental que deu origem ao banco dos Cajuais. O transporte de sedimentos associado à dinâmica das marés e o fluxo subterrâneo de água doce relacionam-se com o canal estuarino, o qual se encontra em parte sobre o delta de maré.

O segundo conjunto de terraços marinhos (Figura 3), de idade holocênica, apresentou uma altitude média de 4 m acima do nível atual do mar e ocupa grande parte da planície costeira. Nestes terraços mais baixos foram encontradas camadas de areia de fina a muito fina, contendo conchas de bivalves e seixos de concreções carbonáticas (rodolitos que atualmente também ocorrem no banco de algas). As conchas foram submetidas a datações radiométricas, utilizando o método C^{14} (MEIRELES et al., 2005). As conchas foram encontradas em fácies de estirâncio e berma, posicionadas 1,5 m acima do nível de maré alta atual com idade de 1.720 ± 20 anos A.P. É importante evidência que o nível de conchas submetido à datação radiométrica foi o superior, o que suscita, possivelmente, idades mais antigas na direção da base do pacote sedimentar.



Figura 3 - Terraço marinho holocênico com níveis de conchas associados a fácies de estirâncio e berma. Sondagens, altimetria e datações radiométricas desta morfologia, evidenciaram praias antigas, dispostas a um nível do mar 1,5 metros acima do atual por volta de 2.000 anos AP

Fonte: J. Meireles (2007)

Como a morfologia dos terraços está associada a eventos de marés de tempestade durante as fases regressivas, foram construídas estruturas de cristas e cavas (*beach ridges*) paralelas à linha de praia atual, definindo cordões litorâneos indicadores de antigas linhas de praia. Entre as cristas, normalmente, ocorrem canais de maré que se interligam com o estuário Barra Grande. Os canais de maré apresentaram direção de escoamento convergente ao canal estuarino, evidenciando suave mergulho dos terraços holocênicos para o setor central da planície.

Associados a este conjunto de terraços e durante o evento regressivo no qual o mar atinge a cota atual, desenvolveram-se os sistemas morfológicos dunar, lagunar, estuarino e o delta de maré, no qual está instalado o banco de algas. Suas características morfológicas e sedimentares foram descritas, os depósitos foram posicionados num contexto regional e atribuídos controles transgressivos e regressivos que ocorreram durante o Quaternário. O limite externo do banco pode estar associado a uma linha de praia constituída durante os eventos eustáticos e que atualmente se encontra submersa.

Os depósitos eólicos estão associados à faixa de praia, aos terraços marinhos, tabuleiro, às lagoas costeiras e ao delta de maré. Evoluíram de acordo com a disponibilidade de sedimentos durante as fases de regressão marinhas e às mudanças climáticas (as dunas foram utilizadas como indicadores morfológicos do nível relativo do mar, de acordo com Meulen, 1990). Proporcionaram a origem de três gerações de dunas, evidenciando os tipos barcana, transversal, dômica e parabólica. As areias para a formação das dunas foram mobilizadas pelo vento com a construção das primeiras faixas de terraço marinho, no início do período regressivo, ainda com o nível do mar nas proximidades das falésias mortas. Estão distribuídos preferencialmente na porção leste da planície costeira. As dunas mais antigas, possivelmente associadas ao processo regressivo após o máximo transgressivo pleistocênico, foram fixadas por uma cobertura vegetal arbórea e estão posicionadas sobre o tabuleiro pré-litorâneo (setores SE e NW e faixa central, nas proximidades da cidade de Icapuí).

O delta de maré instalado diante do estuário Barra Grande (Figura 4) foi compartimentado em dois setores, aqui definidos como emerso e submerso. Estão associados com flechas de areias (*spits*), desde o contato com a linha de falésia morta, a uma planície de maré que se envolveu com ambiente lagunar por intermédio do fechamento do canal estuarino pela deriva litorânea e o rompimento das flechas de areia; deriva litorânea de sudeste para noroeste e terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos. Esta dinâmica foi acompanhada com retenção (trapeamento) de sedimentos pela presença das algas e possíveis afloramentos rochosos (evidenciados mais ao oeste) diante da desembocadura do canal estuarino.

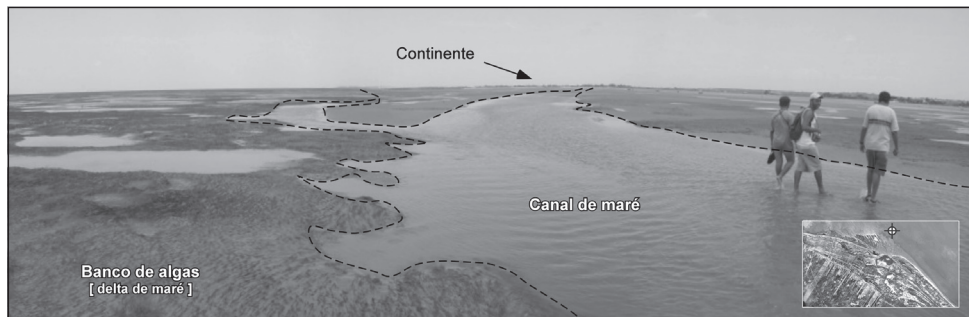


Figura 4 – Vista panorâmica do delta de maré (setor emerso durante a maré baixa) com a presença do banco de algas e do canal de maré principal

Fonte: J. Meireles (2007).

Sobre os terraços marinhos holocênicos e posicionadas entre os cordões litorâneos, formaram-se as lagoas costeiras (Figura 5). São alongadas no sentido sudeste - noroeste e associadas ao afloramento do lençol freático durante o período de maior precipitação pluviométrica (primeiro semestre). As lagoas desenvolveram-se à medida que se processava a progradação da planície costeira, com a formação dos terraços marinhos holocênicos e instalando-se nos setores de cavas.

O ecossistema manguezal vincula-se ao delta de maré por meio da dinâmica das marés e produção e dispersão de nutrientes, contribuindo para manter, regular e diversificar a biodiversidade local. Este suporte de biomassa relaciona-se com as atividades de subsistência da comunidade de pescadores existente nas proximidades. Constatou-se que se encontra fragmentado pelas salinas e fazendas de camarão, mas ainda atua como suporte ambiental para a pesca e a mariscagem. Favorece a segurança alimentar advinda das atividades de subsistência e os estoques de pescado ao longo da zona costeira e ambiente marinho. Regionalmente este ecossistema está vinculado às rotas de migrações, principalmente com a Rota Migratória Atlântica de Aves Neotrópicas (WHSRN, 2006). Seu conjunto de feições específicas (manguezal, apicum, gamboas, canais de maré, bancos e flechas de areia e argila e zonas de transição) constitui um ecossistema de fundamental importância na geração e produção de vida animal, principalmente marinha.



Figura 5 – Unidade morfológica lacustre evidenciando a sazonalidade climática durante a estiagem (A) no segundo semestre e no período das chuvas (B), primeiro semestre

A interligação dos dois sistemas morfológicos - delta de maré e estuário - é realizada por uma complexa rede de canais, que trata de renovar a água dos respectivos ecossistemas e promover a distribuição da produção de matéria-prima (nutrientes) para a fauna e a flora. Os canais também atuam de modo a proporcionarem aportes de sedimentos (areia, silte, argila, biodetritos e matéria orgânica) para a contínua morfogênese do delta de maré.

Os canais de maré sobre o delta, durante a maré baixa, direcionam os propágulos da vegetação de mangue, nutrientes produzidos dentro do ecossistema manguezal e sedimentos para a deriva litorânea. Esses canais também orientam os setores de expansão do ecossistema manguezal e a dinâmica do aporte de nutrientes para o ecossistema marinho (praias e plataforma continental interna). Durante a maré alta, atuam como canalizadores da água marinha para dentro do manguezal e planície de maré associada.

A grande quantidade de biomassa de algas presente nesta região faz com que o banco dos Cajuais seja caracterizado como o banco de algas mais significativo em todo o

Estado do Ceará. Soma-se a isso o fato de tratar-se de uma região onde a presença de fanerógamas marinhas é abundante, tornando uma área de relevante interesse para a conservação, não somente como área de alimentação do peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*), mas também como importante área de recrutamento para outras espécies (MEIRELLES, 2008). Levando em conta a diversidade de ecossistemas e a produtividade primária associada, a planície costeira de Icapuí, associada ao manguezal, delta de maré e plataforma continental interna (até a cota batimétrica de 10 m), é considerada como extremamente crítica para a preservação do peixe-boi marinho. Os conflitos de uso, danos ambientais na exploração dos recursos e o desenvolvimento de atividades que ameaçam a espécie, foram agrupados como importantes indicadores de perda de biodiversidade.

A figura 6 evidencia o conjunto de unidades morfológicas no setor central da planície costeira. Os terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos atuaram como divisor do canal estuarino Barra Grande. Evidencia também que, como esses terraços foram originados durante eventos regressivos (progradação da linha de costa), partindo do sopé da paleofalésia, o canal estuarino e a planície de maré progrediam no ritmo de expansão da linha de costa. A presença de uma sequência de flechas de areia ao longo da margem direita da planície de maré demonstrou a possibilidade de intervalos de bloqueio do canal estuarino (deriva litorânea associada a ciclos de baixa vazão estuarina), favorecendo intervalos associados a ambientes lagunares (canal estuarino bloqueado por flechas de areia, durante eventos regressivos e por ilha-barreira durante eventos transgressivos). Como o terraço pleistocênico está encostado na paleofalésia e foi originado durante a progradação costeira no penúltimo evento regressivo, provavelmente atuou como estrutura morfológica para a origem da primeira flecha de areia, ainda no início da progradação dos terraços marinhos holocênicos.

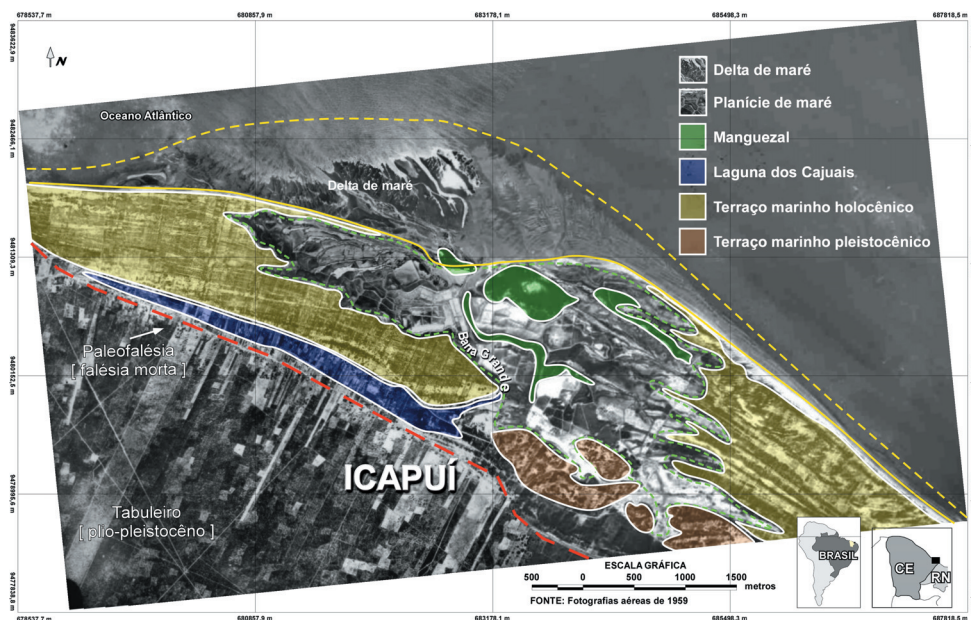


Figura 6 – Unidades morfológicas do trecho central da planície costeira de Icapuí

Para sintetizar os processos morfológicos responsáveis pela origem do relevo atual da planície costeira, foram definidos 5 estádios evolutivos, evidenciados pelos componentes morfológicos descritos anteriormente e representados na figura 7:

- i. *Penúltima transgressão* - durante o Pleistoceno, quando o nível do mar alcançou cotas superiores a 6 m. Origem da linha de paleofalésia;
- ii. *A regressão subsequente* - originou os terraços marinhos pleistocênicos e possivelmente a primeira geração de dunas. Estão posicionados no interior na planície, alcançando 7 m acima do nível da maré atual;
- iii. *A última transgressão* - de idade holocênica e cota de aproximadamente 4 m acima do nível do mar atual, foi responsável pelo retrabalhamento dos terraços pleistocênicos, podendo ter alcançado a paleofalésia (uma vez que os terraços holocênicos também ocorrem encostados na base da escarpa). Originou-se o sistema morfológico lagunar;
- iv. *A regressão subsequente* - originou os terraços marinhos holocênicos (datados de 2.000 anos A.P.) e a segunda geração de dunas. No processo de progradação desenvolveram-se o canal estuarino, a planície de maré e o complexo sistema morfológico de flechas de areia, promovendo materiais para a formação do setor emerso do delta de maré, e
- v. O mar alcança a cota atual, com a continuidade do aporte sedimentar até o delta de maré, o desenvolvimento das dunas de terceira geração sobre a atual zona de berma, a faixa de praia e as diferentes atividades de uso e ocupação.

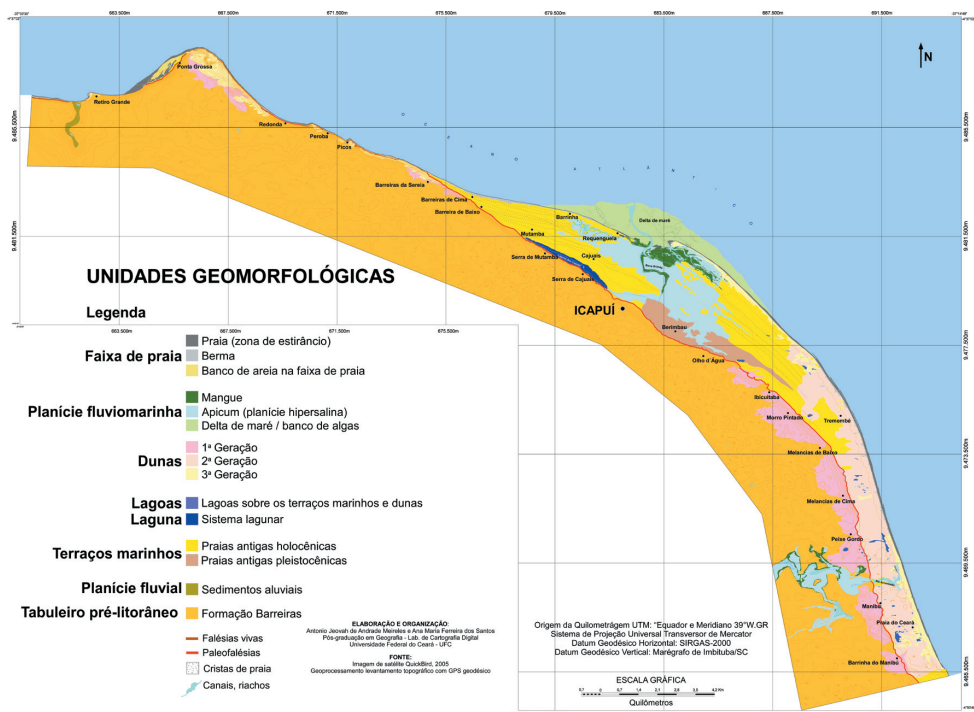


Figura 7 – Mapa geomorfológico da planície costeira de Icapuí

OS FLUXOS COSTEIROS E AS INTERFERÊNCIAS HUMANAS

A planície de Icapuí foi construída à medida que os fluxos de matéria e energia proporcionavam a produção de sedimentos e nutrientes, a sua distribuição e deposição ao longo das unidades ambientais e ecossistemas associados, ao que se aliaram às flutuações do nível relativo do mar, mudanças climáticas e ação das energias modeladoras atuais (ondas, marés, ventos e hidrodinâmica superficial e subterrânea).

Cada um dos aspectos tratados à continuação foi relacionado diretamente com os fluxos de matéria e energia que se vinculam ao delta de maré. A dinâmica que envolve as ondas, a elevada densidade de canais de maré que afloram na maré baixa sobre o delta, escoamentos superficiais associados à laguna de Cajuais e ao estuário Barra Grande e as conexões com o lençol freático (quando aflora, origina as lagoas dispostas sobre a planície), foram evidenciados de modo a configurar a interdependência evolutiva entre os sistemas costeiros:

- i. A integração dos fluxos litorâneos dispostos na planície costeira de Icapuí e os efeitos sazonais das condições climáticas e eventos eustáticos possibilitaram a compreensão dos processos morfogenéticos que ensejaram a progradação dos terraços marinhos e consequente formação das lagoas, laguna, estuários, gerações de dunas e a sequência de esporões arenosos;
- ii. As cristas de praia e sulcos (ondulações paralelas à linha de praia que partem do contato dos terraços com a paleofalésia), dispostas ao longo da planície, provieram de eventos erosivos durante períodos de marés de sizígia e de tempestades. A altura entre as cristas e sulcos variou de 1 a 3 m. Essas morfologias, paralelas à linha de praia atual, evoluíram para lagoas costeiras regidas pela sazonalidade climática e variações do nível hidrostático do aquífero;
- iii. O fluxo eólico atuou de modo a formar três gerações de dunas. As areias foram mobilizadas com a construção das primeiras faixas de terraço marinho, no início do período regressivo, e ainda com o nível do mar nas proximidades das falésias mortas. Os depósitos eólicos estão distribuídos sobre as falésias mortas, terraço marinho e zona de berma, evidenciando uma relação direta com as etapas regressivas do nível relativo do mar. Esses depósitos estão distribuídos preferencialmente na porção leste da planície. Os estudos realizados na costa brasileira (ANGULO, 1993; MARTIN et al., 1986), européia (BRESSOLIER et al., 1990; MEULEN, 1990), relacionaram gerações de dunas com os eventos transgressivos e regressivos e as mudanças climáticas;
- iv. A deriva litorânea dos sedimentos ocorre predominantemente de leste para oeste e, localmente, em duas direções preferenciais, de acordo com a fisiografia da linha de costa (sudeste e noroeste) e a direção dos ventos (alísios de leste e nordeste). Correlacionada com a morfologia de esporões de areia que parte do interior da planície, e associada à margem direita do estuário Barra Grande, é provável que também tenha mantido essa mesma distribuição durante a construção dos terraços marinhos. Atualmente, proporciona o transporte de sedimentos e das algas ao longo das praias e sobre o delta de maré. Quando conjugada com o fluxo das marés, nas proximidades da Barra Grande, proporciona as mudanças morfológicas dos canais sobre o delta de maré, direcionando os fluxos de enchente e vazante sobre o sistema marinho proximal. A relação entre deriva litorânea de sedimentos (com o desenvolvimento de flechas e bancos de areia) e aporte de materiais provenientes do canal principal, foram responsáveis pela composição morfológica atual e simetria definida ao longo da faixa mais distal (emersa em maré baixa) do delta (BHATTACHARYA; GIOSAN, 2003). A composição com os demais fluxos de matéria e energia e relacionados com os eventos de flutuações do nível do mar para o litoral cearense (MEIRELES et al., 2005) definiram uma série de eventos relacionados com a evolução morfológica do delta de maré;

- v. O sistema morfológico lagunar, localizado no sopé da paleofalésia, hoje fortemente alterado por ações de cultivo de subsistência e construção de comportas para a drenagem e bloqueio do acesso da água das marés, era acessado pelos fluxos de maré, durante eventos de marés de sizígia e tempestade, e pela água doce proveniente do aquífero. Está vinculado ao último evento transgressivo, possivelmente construído por ilha-barreira e a progradação da planície com a construção dos terraços marinhos holocênicos;
- vi. O estuário Barra Grande representa um sistema interligado aos fluxos de água doce provenientes do exutório das falésias mortas, à dinâmica das marés e correntes marinhas. Atualmente está submetido às atividades que promoveram impactos ambientais relacionados com o desmatamento do manguezal, impermeabilização do solo (vias de acesso, salinas e viveiros de camarão) e contaminação da água (efluentes domiciliares e industriais) que modificaram a hidrodinâmica de fluxo e refluxo das marés; e
- vii. O delta de maré é o sistema costeiro de maior complexidade geoambiental da região, pois configura o ponto de convergência das reações associadas aos fluxos de matéria e energia produzidos na planície costeira e ambiente marinho adjacente. Relaciona-se diretamente com o aporte de sedimentos e nutrientes oriundos dos demais fluxos que atuaram na constituição da paisagem costeira e da plataforma continental interna. Os produzidos pela deriva litorânea dos sedimentos, o proveniente das fases de vazão da maré no estuário Barra Grande e da água subterrânea originada pelos aquíferos denominados de Barreiras, terraços marinhos e dunas, direcionam-se para o delta de maré, interagindo com o ecossistema localmente representado pelo banco de algas. Da mesma forma, os fluxos produzidos interagem diretamente com os demais, principalmente na disponibilidade de sedimentos e nutrientes produzidos e em parte disponibilizados para os demais ecossistemas (estuário e praias adjacentes) por meio da dinâmica das marés, das ondas e dos ventos.

As interferências no ecossistema manguezal promovidas pelo desmatamento e o bloqueio de canais internos pelas estruturas de produção de sal e de camarão em cativeiro alteraram a dinâmica de produção e distribuição dos sedimentos e nutrientes e as relações de trocas com o banco de algas. Setores do manguezal foram isolados da participação diária das incursões das marés. A entrada das marés para setores de planície hipersalina (apicum) e de bosque de manguezal agora é controlada por comportas e canais artificiais. Em vários trechos, o contato entre os terraços marinhos e a planície de maré foi bloqueado por diques. Foram introduzidos componentes químicos (metabissulfito e carbonato de cálcio) e matéria orgânica (alimento para os camarões) indutores de mudanças dos componentes básicos da microfauna.

Foi mediante o aporte de areia proveniente da deriva litorânea de sudeste para noroeste e, com a mudança na fisiografia da linha de costa diante da desembocadura do estuário Barra Grande, que ocorreu acúmulo diferenciado de sedimentos na área do delta de maré. Esses sedimentos movimentaram-se na forma de grandes bancos de areia ricos em biodetritos. Essa dinâmica também interferiu diretamente no comportamento morfológico das praias localizadas ao noroeste da desembocadura do estuário. Verificou-se que também está relacionada com eventos de soterramento de áreas com a concentração de algas, regulando, desta forma, a distribuição geográfica das algas sobre o delta de maré.

Possibilidade de acréscimo lateral de sedimentos pela deriva litorânea, localmente de sudeste para noroeste (com o desenvolvimento de flechas e bancos de areia), e materiais provenientes do canal principal interligado com a planície de maré (manguezal e setores hipersalinos) e a laguna, foram também responsáveis pela composição morfológica atual e simetria definida ao longo da faixa mais distal (emersa em maré baixa) do delta (BARNHARDT; SHERROD, 2006). A composição com os demais fluxos de matéria e energia e relacionados com os eventos de flutuações do nível do mar para o litoral cearense (MEIRELES et al.,

2005) definiram uma série de eventos relacionados com a evolução morfológica do delta de maré.

Como as algas também promovem a fixação dos sedimentos, a retenção de silte e argila e a produção de matéria orgânica, os componentes morfológicos do delta de maré (rede de canais, bancos de areia e biodetritos) foram associados aos aspectos ecológicos e distribuição espacial das algas sobre os bancos de areia e setor de pro-delta.

Atividades de subsistência relacionadas com currais de pesca, mariscagem, coleta de algas, pesca em águas rasas, projetos de criatório de ostras, cultivo de algas e atividades de turismo e lazer desenvolvem-se diretamente no delta de maré (banco dos Cajuais) e praias adjacentes. Atividades que dependem da qualidade da água e da produção primária (matéria orgânica, nutrientes e algas) existente no sistema costeiro que envolve o delta de maré e o estuário Barra Grande.

CONCLUSÕES

As unidades geoambientais que compõem a planície costeira de Icapuí foram analisadas de modo a definir a dinâmica morfológica que atuou em sua evolução com origem nos eventos eustáticos. A integração dos processos geomorfológicos foi realizada tomando como base a disponibilidade de sedimentos e energias de transporte, fácies sedimentares e datações radiométricas. Os indicadores de flutuações do nível relativo do mar, durante o Quaternário, foram definidos mediante a distribuição espacial e a caracterização de seus componentes morfológicos.

Determinou-se que o delta de maré (*ebb-delta*) foi originado através da evolução dos eventos eustáticos, estando representadas as fácies de pró-delta e delta superpostas com o evento transgressivo e regressivo subsequente, desde a penúltima transgressão marinha. Está associado à evolução da planície de maré e a laguna em contato com a linha de falésia morta. Como parte da fonte de sedimentos está vinculada aos máximos fluxos lagunar e fluviomarinho, certamente a fisionomia deltaica foi favorecida por estes eventos de grandes espasmos de sedimentos, principalmente na fase regressiva holocênica.

Os terraços marinhos foram associados aos eventos relacionados com a origem do delta de maré, recobrindo provavelmente fácies de pró-delta durante a última fase regressiva, quando o nível do mar alcança a cota atual. As flechas de areia dispostas ao longo da margem direita da planície de maré evidenciaram a composição de uma sequência de ambientes lagunares intercalados com planícies de maré, durante esta fase regressiva (podendo ter ocorrido na fase regressiva posterior ao penúltimo evento transgressivo), superpondo níveis argilosos que atualmente afloram no interior da planície de maré.

Os demais componentes morfológicos, principalmente os associados à evolução das falésias e as gerações de dunas, integraram-se com os efeitos erosivos e disponibilidade de areia durante os eventos transgressivos e regressivos, respectivamente. Com a evidência de dunas sobre a falésia morta, nitidamente evidenciando um truncamento na continuidade da estrutura dunar sobre os terraços, demonstrou que a primeira geração de dunas foi ainda formada quando o nível do mar estava mais elevado do que o atual e promovendo o recuo do tabuleiro pré-litorâneo em forma de falésia viva. Na regressão subsequente, quando o nível do mar atinge a cota atual, foram originadas as outras duas gerações, com a mais recente sobre a berma atual e a de segunda geração sobre os terraços marinhos holocênicos.

O modelo evolutivo proposto, em síntese orientado pelas flutuações do nível relativo do mar e mudanças climáticas, foi fundamental para a produção de dados básicos relacionados com as unidades geomorfológicas e integração desses componentes como suporte para

a definição dos fluxos de matéria e energia. Desta forma, serão de fundamental importância para a composição de mapas temáticos voltados para a definição de vulnerabilidades ambientais e formas adequadas de uso e ocupação deste setor do litoral cearense.

REFERÊNCIAS

- ANGULO, R.J.; LESSA, G.C. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananeia regions. **Marine Geology**, Florida, v. 140, n. 1, p.141-166, 1997.
- ANGULO, R.J. Morfologia e gênese das dunas frontais do litoral do Estado do Paraná. **Rev. Bras. Geoc.**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 68-80, 1993.
- BARNHARDT, A. W.; SHERROD, L.B. Evolution of a Holocene delta driven by episodic sediment delivery and coseismic deformation, Puget Sound, Washington, USA. **Sedimentology**, Virginia, USA, v. 53, n.6, p.1211-1228, 2006.
- BHATTACHARYA, J.; GIOSAN, L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. **Sedimentology**, Virginia, v. 50, n.1, p.187-210, 2003.
- BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in northeastern Brasil. **An. Acad. Bras. Ciên.** Rio de Janeiro, v.47 (supl.), p.365-393, 1975.
- BIGARELLA, J.J. Variações climáticas no Quaternário superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método carbono 14. **Paleoclimas**, São Paulo, v. 1, 22p, 1971.
- BRESSOLIER, C.; FROIDEFOND, J.-M.; THOMAS, Y.-F. Cronology of coastal dunes in the south-west of France. In: BAKKER, T.W., JONGERIVES, P.D. and KLIJN, J.A. (Ed.), **Dunes of European coasts-Geomorphology-Hydrology- Soils. Journal of the international society of Soil Science**, Supplement, 1990. 18, p.101-107.
- BRUUN, P. Sea level rise as a cause of shore erosion. **Amer. Soc. Civil Engineer Proc. Jur.** Waterways and Harbors Div., USA, v.88, p.177-130, 1962.
- DALRYMPLE, W.M., ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. A conceptual model of estuarine sedimentation. **Journal of Sedimentary Petrology**, Oklahoma, v.62, p.1130-1146, 1992.
- DOMINGUEZ, J. M. L. ; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C.S.P. Climate Change and Episodes of Severe Erosion at the Jequitinhonha Strandplain - SE Bahia, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Florida, USA, v. 3, p.1894-1897, 2006.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C.S.P. Regional Assessment of Long Term Trends of Coastal Erosion in Northeastern Brazil. . **An. Acad. Bras. Ciên.**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 3, p.355-371, 1996.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C.S.P.; MARTIN, L. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 98-105, 1983.
- EMERY, K. O.; UCHUPI, E. **The geology of the atlantic ocean**. Springer-verlag, New York, 1984, 925p.
- FAIRBRIDGE, R.W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (Ed.): **Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries**, Wiley, New York, 1980, 1-35p.
- GOUDIE, A. **Environmental change - contemporary problems in geography**. England: Oxford University Press, 2ª ed., 1983. 258p.

LESSA, G.C.; ANGULO, R.J. Oscillations or not oscillations, that is the question - Reply. **Marine Geology**, Florida, v. 150, n. 1, p.189-196, 1998.

LOWE, J. L.; WALKER, M.J.C. **Reconstructing Quaternary Environments**. England: Logman, 2ª ed., 1984. 389p.

MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.SP.; DOMINGUES, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; SUGUIO, K. Oscillations or not oscillations, that is the questions: Comment on Angulo, R. J. and Lessa G. C. "The Brazilian sea-level curves. A critical review with emphasis on the curves from the Paranaguá and Cananéia Regions". **Marine Geology**, Florida, v.150, n. 1, p.179-187, 1998.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. Shell middens as a source for additional information in Holocene shoreline and sea-level reconstruction: example from the coast of Brazil. In: DE PLASSCHE, O., van (Ed.) **Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data**. England: Norwich, Geo Books., 1986. 18, p.503-523.

MEIRELES, A. J. A.; RUBIO, R. P. Geomorfologia litoral: una propuesta metodológica sistémica en la llanura costera de Ceará, nordeste de Brasil. **Revista de Geografía**, Universidad de Barcelona, España, v.33, p.165-182, 1999.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEBE, A.; THIERS, P.R.L. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Revista Mercator**, Fortaleza, v.4, n.8, p.109-134, 2005.

MEIRELLES, A.C.O. Mortality of the Antillean manatee, *Trichechus manatus manatus*, in Ceará State, north-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association**, London, v.88, n.6, p.1133-1137, 2008.

MEULEN, F., van der. European dunes: consequences of climate changes and sea level rise. In: BAKKER, T.W., JUNGERIUS, P.D.; KLIJN, J.A. (Ed.): **Dunes of European coasts-Geomorphology-Hydrology-Soils**. Amsterdam: Elseviers Science, Catena Supplement v. 18, 1990, p. 209-223.

NICHOLLS, R.J.; WONG, P.P.; BURKETT, V.R., CODIGNOTTO, J.O.; HAY, J.E.; McLean, R.F.; RAGOONADEN S.; WOODROFFE, C.D. Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge: Cambridge University Press, 2007, p. 315-356.

PERILLO, G.M.E. Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. In: PERILLO, G. M. E: Geomorphology and Sedimentation of Estuaries. **Developments in Sedimentology**. Amsterdam: Elseviers Science, n. 53, p. 17-43, 1995.

PIRAZZOLI, P.A. Present and near future global sea-level changes. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, Holanda, v.75, p.241-258, 1989.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Rev. Bras. Geoc.**, São Paulo, v.15, n.4, p.273-286, 1985.

WHSRN **Western Hemisphere Shorebird Reserve Network**. Disponível em: <<http://www.whsrn.org/sites/list-sites>> Acesso em: 20 de novembro de 2006.

Recebido em março de 2010

Aceito em março de 2011

