

DINÂMICA COSTEIRA CONTROLADA POR PROMONTÓRIOS NO ESTADO DO CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL

Vanda CLAUDINO-SALES¹ & Alexandre Medeiros de CARVALHO²

(1) Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará. Bloco 911 – Campus do Pici, Cep 60.455-760, Fortaleza, Ceará.
Endereço eletrônico: vcs@ufc.br.

(2) Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. Avenida da Abolição, 3207, CEP 60.165-081. Endereço eletrônico: amcufc@ufc.br.

Introdução
Materiais e Métodos
Caracterização da Área de Estudos
Dinâmica Litorânea Controlada por Promontórios: resultados e discussão
 A Ponta de Jericoacoara e entorno
 A Ponta da Lagoinha e entorno
 A Ponta de Paracuru e entorno
 A Ponta de Flecheiras e entorno
 A Ponta/Porto do Mucuripe e entorno
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO - Os promontórios, onde ocorrem, influenciam a dinâmica litorânea, por representarem barreiras às correntes longitudinais. Com frequência, e especialmente em costas de deposição, eles também influenciam o comportamento das praias e das dunas no seu entorno. No litoral do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil, as pontas litorâneas são feições frequentes, que se sucedem ao longo da linha de costa, em particular no segmento oeste. Elas são sustentadas por rochas cristalinas pré-cambrianas, rochas sedimentares cretáceas, sedimentos friáveis cenozóicos e construções biogênicas. Campos de dunas bem desenvolvidos formam-se a barlar, enquanto a sotamar, desenvolvem-se enseadas. Esse contexto geomórfico pode ser radicalmente alterado em virtude de intervenções sociais, como construção de portos e marinas. Tais intervenções produzem ruptura do frágil equilíbrio das áreas litorâneas que têm dinâmica controlada por promontórios, do que resulta destruição do campo de dunas e erosão das praias a sotamar. A dinâmica natural e a degradação imposta por usos sociais no espaço litorâneo do entorno de promontórios são discutidos nesse trabalho, a partir de exemplos no Estado do Ceará.

Palavras-chave: Promontórios, bypass costeiro e litorâneo, dinâmica costeira, dinâmica costeira no Ceará.

ABSTRACT - *V. Claudino-Sales & A. M. de Carvalho. Coastal Dynamics Controlled by Headlands in Ceará State, Northeast of Brazil.* Headlands, where they occur, influence coastal dynamics, because they represent barriers to longshore currents. Often, they also influence the behavior of beaches and dunes in their surroundings. On the coast of Ceará, Northeast Brazil, these features are frequent, particularly in the west segment. They are made by Precambrian crystalline rocks, Cretaceous sedimentary rocks, Cenozoic sediments and biogenic formations. Well-developed dune fields accumulate updrift, while downdrift forms coves. This geomorphic context can be radically altered by social interventions, such as construction of harbors and marinas. These interventions produce the rupture of the fragile equilibrium of the coastal areas that are controlled by headlands, which results in destruction of the dune field and in erosion of beaches downdrift. The natural dynamics and the degradation imposed by social uses in the coastal areas with the occurrence of headlands are discussed in this paper, using examples from the state of Ceará.

Key-words: Headlands, coastal and littoral bypass, coastal dynamics, coastal dynamics in Ceará State.

INTRODUÇÃO

Pontas litorâneas são acidentes geográficos que podem ser caracterizados como massas de terra que adentram no mar, e ocorrem onde existem afloramentos de rochas mais resistentes na linha de costa. Normalmente, são feições

delimitadas a sotamar por embaiamentos do tipo enseadas ou baías, as quais são escavadas em materiais menos resistentes. Ambas as feições - pontas litorâneas e enseadas - são comuns ao longo das zonas costeiras mundiais,

estando presentes inclusive em costas arenosas, como evidência de diversidade geológica e geomorfológica.

Em costas dominadas por acumulação de sedimentos, a existência de pontas litorâneas pode definir a ocorrência de locais com acumulação ainda mais expressiva, nos quais se verifica o desenvolvimento de extensos campos de dunas. Essas dunas podem migrar através do topo do promontório e atingir a enseada a sotamar. Tal processo foi notado por Tinley em 1986, quando descrevia a zona costeira da África do Sul. Tinley (1986) denominou o processo de “*bypass*”, e as dunas que cruzam a ponta litorânea, de “*headland bypass dune field*”. Desde então, a terminologia vem sendo largamente utilizada na literatura geomorfológica. Aqui, traduzimos a expressão

“*headland bypass dune field*” pelos termos “dunas de *bypass*”, ou “dunas de transpasse”.

Outro elemento que controla a morfodinâmica de zonas costeiras com promontórios é o *bypass* litorâneo de sedimentos, isto é, o transpasse que ocorre através da ponta litorânea por meio da deriva litorânea ou da reflexão, refração e difração de ondas - portanto, em condições submersas (Claudino Sales, 2002). A dinâmica associada com *bypass* litorâneo, especialmente em costas de deposição, tem sido um tema de raros estudos. O presente trabalho apresenta uma análise das interações estabelecidas entre pontas litorâneas e dinâmica costeira na costa do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil, onde essas feições ocorrem de forma rítmica (Figuras 1 e 2).



Figura 1. Pontas litorâneas na costa leste do Estado do Ceará (Imagem Google Earth 5).

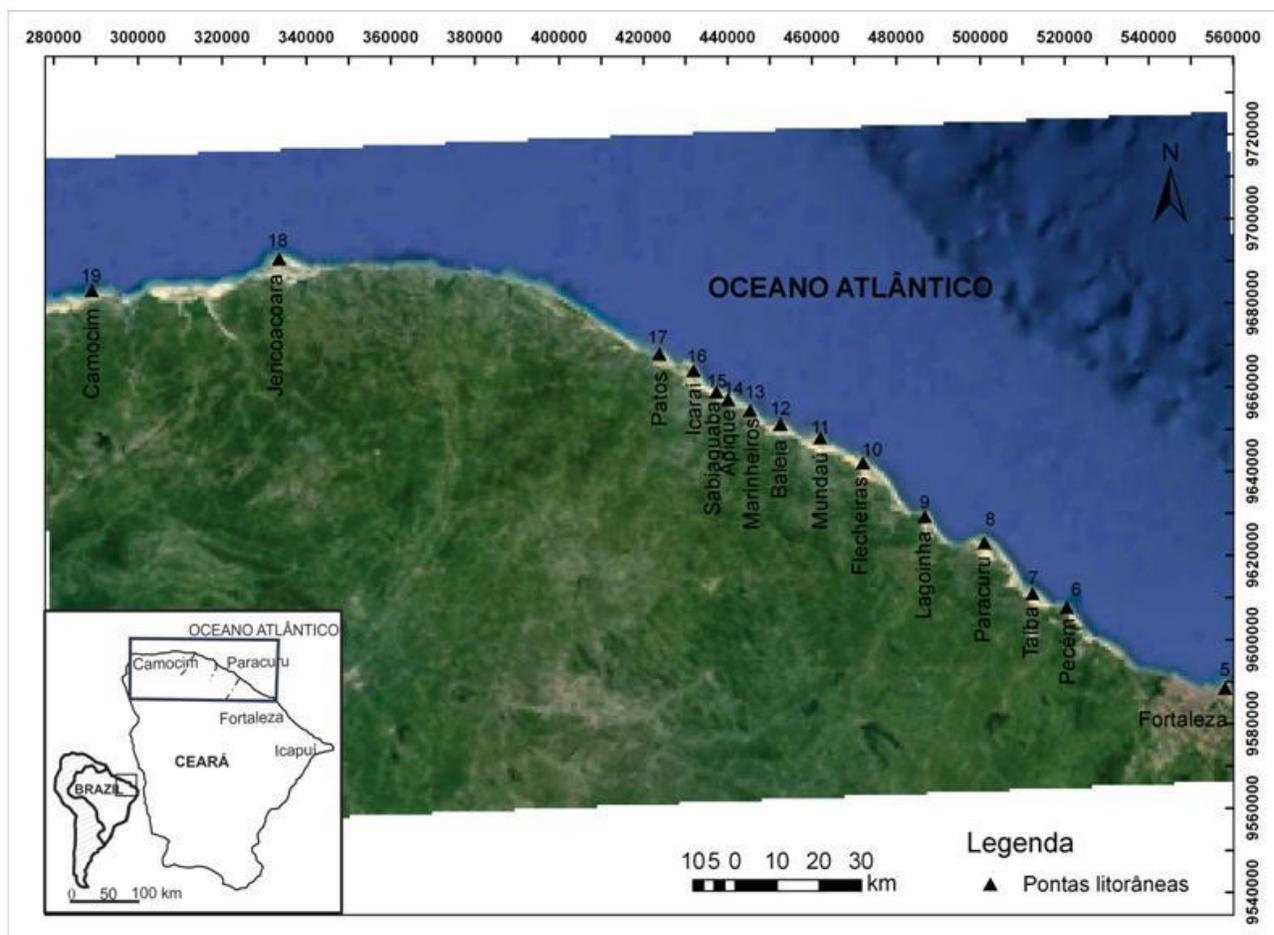


Figura 2. Pontas litorâneas ao longo da costa oeste do Estado do Ceará (Imagem *Google Earth 5*).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse estudo, utilizou-se a análise ambiental, que tem inspiração geossistêmica e indica uma abordagem interativa dos elementos que compõem o meio natural – em particular, nesse caso específico, daqueles associados à dinâmica costeira. Para tanto, realizou-se pesquisa bibliográfica, interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite e consulta a mapas e cartas náuticas. As imagens de satélite utilizadas, a partir das quais foram realizadas mensurações, correspondem às de alta resolução *Quickbird*, escala 1:5.000, ano 2006. Para a localização e ilustração dos sítios analisados no artigo, utilizaram-se

imagens do *Google Earth*, assim como fotos obtidas no solo.

Em adição, foram realizados trabalhos de campo em todas as áreas de ocorrência das pontas litorâneas no Estado do Ceará, além de análises laboratoriais, com o intuito de caracterizar a granulometria e a morfometria dos sedimentos de dunas e praias, visando definir as áreas fontes de sedimentos.

Para permitir um bom entendimento da dinâmica particular dos sítios estudados, a caracterização da área de estudo é apresentada em detalhe.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira do Estado do Ceará situa-se entre as latitudes de 2°47'S e 4°50'S, com extensão de 577 km. Consiste de praias arenosas que variam de 50 a mais de 500 m, geralmente apresentando baixa inclinação, irregularmente interrompidas por pontas litorâneas, falésias, rochas-de-praias e estuários geralmente com larguras inferiores a 300 m, onde se desenvolvem manguezais. A área é também caracterizada pela ocorrência de pequenas ilhas-barreiras (Claudino Sales, 2002; Hesp et al., 2009).

Apesar de sua posição subequatorial, o Estado do Ceará é dominado por um clima semi-árido. A média anual de precipitação na cidade de Fortaleza, capital do estado, baseada nos dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), é da ordem de 1350 mm anuais (ano de 1996). Em outros setores da zona litorânea - a exemplo de Aracati, situada no litoral leste, a 140 km de Fortaleza -, essa média é de 1120 mm para o mesmo ano. A semi-aridez não resulta dos índices de precipitação, que são relativamente elevados, mas da grande variação inter-anual, pois mais de 90% das precipitações concentram-se na estação chuvosa. As chuvas ocorrem entre os meses de fevereiro e junho. Durante os meses de setembro e outubro, a área praticamente não recebe precipitação.

Em termos de temperatura, há pouca variação anual, e as médias mensais oscilam entre 25,2 e 27,5 °C na área costeira (INPE, 1996). Em razão das elevadas temperaturas, a taxa de evaporação é igualmente acentuada, resultando em considerável déficit hídrico, da ordem de 1000 mm durante a estação seca.

As condições climáticas do Nordeste brasileiro são controladas pelas oscilações da “Zona de Convergência Intertropical –ZCIT”. A ZCIT refere-se à área onde massas de ar úmidas vindas do hemisfério norte e do hemisfério sul colidem. A posição dessa zona de colisão controla a ocorrência da estação seca

e da estação chuvosa. Durante o primeiro semestre do ano, a ZCIT está na sua posição mais meridional, resultando no pico da estação chuvosa. No segundo semestre, ao contrário, a ZCIT desloca-se para o hemisfério norte, definindo o período de estiagem.

Outro controle em escala global do clima da região é associado ao “El Niño”. Maia et al. (2005) sugerem que o “El Niño” tende a ampliar a estação seca no Ceará, enquanto Hastenrath & Heller (2006) sugerem que ele fortalece a estação chuvosa. Assim, quando comparado à bem entendida ZCIT, a influência do “El Niño” no clima regional é ainda pouca clara. Para além das precipitações, a ZCIT também determina as condições de vento, já que ela representa a área de confluência entre os alísios de nordeste e de sudeste. O comportamento dos ventos varia enormemente entre a estação seca e a estação chuvosa. Esse comportamento demonstra um padrão similar ao da precipitação, mas com sinal contrário. À medida que a precipitação diminui, a intensidade do vento aumenta e alcança um pico máximo durante a estação seca. Durante a estação chuvosa, a média da velocidade do vento é aproximadamente metade daquela verificada na estação seca. Tal fato tem fortes implicações para a formação e migração de dunas, pois a taxa de transporte eólico é largamente desfavorecida pela presença de umidade. Com efeito, os ventos mais fortes durante a estiagem são particularmente competentes no transporte de areia seca.

A velocidade do vento também apresenta considerável variação espacial, com tendência de aumento em direção ao litoral oeste, que se aproxima do Equador dada a orientação SE-NO da linha de costa. Com efeito, a velocidade máxima, medida no segundo semestre, como indicada por dados da Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME para o ano de 1996 em Icapuí, situada no litoral leste a 160 km de Fortaleza, é de 5,5 m/s. Em Jericoacoara,

situada no litoral oeste a 320 km de Fortaleza, a velocidade máxima anual atinge 7,5 m/s. Ressalta-se que esses valores referem-se a médias mensais, estando a estação climática localizada a cerca de 5 km de distância da linha de costa. Em razão desse fato, os valores de velocidade de vento medidos na praia são superiores, podendo chegar a 15 m/s ou mais.

Uma condição particular do regime eólico ao longo da zona costeira do Ceará é a constante orientação de quadrantes de leste para quadrantes de oeste. Durante a estação seca, em média, os ventos são oriundos de leste, enquanto que durante a estação chuvosa são dominantes de sudeste e nordeste (INPE, 2006). Em razão da persistência dos ventos vindos de leste, bem como da ocorrência de praias predominantemente dissipativas e intermediárias (Maia, 1998; Claudino-Sales, 2002) e da abundância de sedimentos arenosos, os campos de dunas são bem desenvolvidos ao longo da zona costeira do Ceará. As dunas estão orientadas majoritariamente de leste para oeste, paralelamente aos alísios.

As dunas no Ceará são fixas ou móveis transgressivas. Datas por termoluminescência (~1 m abaixo da superfície) realizadas em dunas fixas por vegetação natural ao longo da zona costeira cearense forneceram idades variando entre 135 mil anos e 100 anos AP (Tsoar et al., 2009). Geralmente, apresentam formas em meia-lua, como barcanas e parabólicas “*hairpin*”. Ocorrem também eolianitos ao longo do segmento oeste (Maia, 1998; Claudino-Sales, 2002; Carvalho, 2003). As dunas móveis variam em altura de 15 m no segmento leste, até 50 m na porção oeste, refletindo o aumento da intensidade do vento em direção a oeste e a constante disponibilidade de areias quartzosas variando de fina a média. Geralmente, a taxa de migração varia entre 9 m/ano e 22 m/ano, com média de aproximadamente 11 m/ano (Jimenez et al., 1999; Castro, 2005).

O regime de ondas na área de estudo é também fortemente influenciado pelos ventos

persistentes e unidirecionais. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH (1996), a direção predominante de onda, medida na Praia do Pecém (litoral oeste), é 90°, isto é, deslocando-se a partir de leste. As ondas são principalmente do tipo “*sea*”, durante quase todos os meses do ano, e ocorrência também de ondas do tipo “*swell*”, originadas no hemisfério norte principalmente entre os meses de novembro e março (Maia, 1998). Essas ondas apresentam altura significativa da ordem de 1,1 m, e frequência de 5 a 6 s.

O regime de ondas é estável ano após ano, mas demonstra sazonalidade, especialmente em termos de frequência e altura. Durante a estação seca, ondas maiores acontecem com mais frequência, fato que reside no aumento da intensidade dos ventos no mesmo período. Em resposta à incidência dominante de ondas de leste e a orientação geral da linha de costa, SE/NO, as ondas chegam à praia formando largos ângulos, assim gerando forte corrente de deriva litorânea (Carvalho, 2003). Em adição, a deriva litorânea é reforçada pelos ventos persistentes.

A área de estudo é caracterizada por um regime de marés semi-diurno, do tipo meso-maré, com amplitude de maré de sizígia da ordem de 3,1 m (DNH, 2010), e uma média de amplitude anual da ordem de 2,7 m. Considerando-se que as praias na costa cearense são predominantemente do tipo dissipativas e intermediárias, portanto de baixa declividade, geralmente inferior a 5°, é comum em marés baixas serem expostas praias muito largas, algumas vezes da ordem de 1 km. Sob a influência das elevadas temperaturas, as praias perdem umidade rapidamente. Dessa forma, um elevado volume de areia seca é transportado pelos ventos da praia em direção ao interior da zona costeira por períodos de tempo da ordem de 6 horas (Maia, 1998). Esse fato parcialmente explica – em conjunto com outros fatores já delineados – a larga acumulação de dunas que ocorre na zona costeira cearense. Para além desse controle, e executando-se algumas áreas,

as marés praticamente não têm influência na dinâmica sedimentológica e morfológica regional.

Todos os dados relativos à curva holocênica de variação do nível do mar indicam que o mar atingiu um nível elevado no Holoceno médio, a partir de então descendo, de forma oscilante, até o nível atual. Registros deposicionais de níveis marinhos na costa cearense são escassos, sendo mais identificados registros erosivos. Claudino-Sales (2002) mediu a porção superior de plataformas de abrasão elaboradas em rochas resistentes em relação ao nível atual e estimou que as variações positivas não ultrapassam +3.0 m no Quaternário. Por outro lado, Carvalho (2003) mediu um nível de plataforma de abrasão de 3,3 m acima do nível médio atual das marés de sizígia localizado na praia de

Lagoinha. Esse mesmo autor identificou *beach-rocks* com cerca de 2,0 m acima do nível médio atual das marés de sizígia e idade de 3360 ± 80 anos A.P., situado a cerca de 2 km daquela plataforma de abrasão. Carvalho (2003) também mediu um nível de vermetídeos na localidade de Pecém, a oeste de Fortaleza, com idade de 1500 ± 60 anos A.P. e posicionado no nível de maré alta atual. Na região de Jericoacoara, De Julio (2012) identificou evento erosivo de transgressão marinha em rochas quartzíticas, registrado no sopé de uma caverna posicionado a 5,8 m do nível do mar e a parte interior de seu topo (lintel) a 7,8 m de altura. De Julio (2012) também mediu o arco natural (Pedra Furada) em Jericoacoara que apresentou uma altura máxima de seu lintel de 5,9 m em relação à maré atual.

DINÂMICA LITORÂNEA CONTROLADA POR PROMONTÓRIOS: RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas 19 pontas litorâneas ao longo dos 577 km de extensão do litoral do Estado do Ceará. Elas representam diferentes tipos de promontórios com suas respectivas magnitudes de aporte de sedimentos e de transporte. As pontas litorâneas são compostas por rochas metamórficas pré-cambrianas, rochas sedimentares cretáceas e cenozóicas e construções biogênicas.

As rochas pré-cambrianas remanescentes na faixa de praia são geralmente de composição quartzítica e desenvolvem pontas litorâneas com caimento em direção ao oceano. Tais rochas são mais proeminentes nas localidades de Iguape, Mucuripe e Pecém (para localização, ver Figuras 1 e 2). Os quartzitos também ocorrem na Ponta de Jericoacoara (para localização, ver Figura 2), definindo falésias descontínuas de até 20 m de altura. As rochas cretáceas resultam da divisão do Pangea (e.g. Peulvast & Claudino-Sales, 2004), correspondem a remanescentes da borda da Bacia Potiguar e afloram no segmento leste, formando a Ponta de Peroba e Ponta de Maceió

(para localização, ver Figura 1), definindo falésias com alturas situadas entre 20 m e 7 m.

Os depósitos sedimentares friáveis cenozóicos compõem a denominada Formação Barreiras, que recobre toda a zona costeira do Nordeste, e formam as pontas litorâneas de Ponta Grossa, Taíba, Paracuru e Lagoinha (para localização, ver Figuras 1 e 2). As construções biogênicas que sustentam algumas pontas litorâneas representam antigos recifes de ostras inscrustadas, além de pequenos corais (Carvalho, 2003). Elas formam as pontas rebaixadas de Fleicheiras, Mundaú, Marinheiros, Apique, Sabianguaba, Icaraí e Patos, nas quais não há ocorrência de falésias (Carvalho, 2003; para localização, ver Figura 2).

Nesse trabalho, quatro exemplos de pontas litorâneas são analisados. A apresentação desses promontórios não segue a ordem geográfica de ocorrência no terreno, mas sim aquela que melhor identifica a dinâmica estabelecida entre os elementos analisados. Um fator fundamental dessa dinâmica, e como

explicitado na caracterização da área de estudo, é a existência de forçantes litorâneas unidirecionais. As ondas dominantes na região, do tipo *sea*, são provenientes de NE e SE, gerando uma deriva no sentido de leste para oeste, permitindo a existência bem definida de setores a barlar (a leste) e setores a sotamar (a oeste) das pontas litorâneas. Os ventos efetivos são de leste e sudeste, produzindo o desenvolvimento de dunas também no sentido dominante de leste para oeste.

A Ponta de Jericoacoara e entorno

A área que envolve a Praia de Jericoacoara e seu entorno está localizada no litoral oeste, a

320 km de Fortaleza (para localização, ver Figura 2). Nessa área, o afloramento de rochas quartzíticas pré-cambrianas adentrando ao mar desenvolve um promontório que se estende por 4 km ao longo da orla (Figura 3). Nessa faixa, há a ocorrência de falésias descontínuas com até 20 m de altura, parcialmente cobertas por dunas edafizadas (Figura 4). O promontório delimita uma mudança bem definida na orientação da linha de costa, de SE/NO para NE/SO, o que resulta de controle estrutural associado com a divisão do Pangea (Peulvast & Claudino-Sales, 2004).



Figura 3. Ponta litorânea de Jericoacoara, no litoral oeste do Ceará (Imagens Ikonos e Google Earth 5).



Figura 4. Falésias descontínuas e plataforma de abrasão desenvolvida em rochas quartzíticas distribuídas ao longo da Ponta de Jericoacoara.

A ponta litorânea de Jericoacoara atua como uma barreira à deriva litorânea, acumulando grande quantidade de areias a barlar. O volume de areias transportado pela deriva litorânea e acumulado na praia a barlar, assim como a quantidade transportada pelo *bypass* litorâneo, não são conhecidos. No

entanto, a magnitude desse volume pode ser considerado significativo face às dimensões e volume das dunas e campos de dunas desenvolvidos nessa faixa costeira, podendo ter até 50 m de altura e 600 m de extensão, e que cruzam todo o promontório em alguns setores (Figura 5).



Figura 5. Migração de dunas através da ponta litorânea de Jericoacoara, realizando completamente o *bypass* costeiro que alimenta com sedimentos a praia a sotamar do promontório (Imagem Ikonos).

Em tal contexto, ocorre acresção na faixa de praia por até 30 km a sotamar da ponta, dado o grande aporte de sedimentos fornecido pelas dunas de *bypass*. Esse aporte permite também a construção de um grande esporão arenoso a

sotamar do promontório (Figura 6), assim como provoca o soterramento do manguezal existente na desembocadura do rio Guriú, que se acha isolada pelo esporão, formando laguna (Figuras 6 e 7).



Figura 6. Esporão arenoso formado a sotamar da enseada de Jericoacoara a partir dos sedimentos aportados pelas dunas de *bypass*. Esse processo isolou a desembocadura do Rio Guriú e formou um ambiente lagunar com desenvolvimento de manguezal (Imagem Ikonos).



Figura 7. Soterramento do mangue do rio/laguna de Guriú pelas dunas de *bypass* de Jericoacoara.

A elevada intensidade do processo de *bypass* costeiro nessa área deriva do fato de que a Ponta de Jericoacoara avança de maneira significativa dentro do mar, ampliando o barramento dos sedimentos a leste, o que propicia a formação de extenso campo de dunas de *bypass*. Em adição, a linha de costa tem orientação SE – NO nesse setor, o que resulta em elevado ângulo de incidência dos ventos de direção E/NE, aumentando o potencial de transporte eólico. Faz-se ainda importante ressaltar que, na área, os ventos são intensos e constantes, e que a topografia é plana, o que não cria obstáculos à migração das dunas.

A Ponta de Jericoacoara representa um setor no qual a dinâmica litorânea não foi alterada

por fatores sociais tais como ocupação da faixa de praia a barlar ou ao longo da área de *bypass* de dunas. Nesse contexto, o mecanismo de *bypass* pode ser compreendido em toda a sua particularidade natural.

A Ponta de Paracuru e entorno

A Ponta de Paracuru situa-se a 70 km a oeste de Fortaleza (para localização, ver Figura 2). Trata-se de um largo promontório com extensão de aproximadamente 10 km (Figura 8), sustentado pelos sedimentos da Formação Barreiras. Nele ocorrem falésias com altitude da ordem de 5 m (Figura 9).

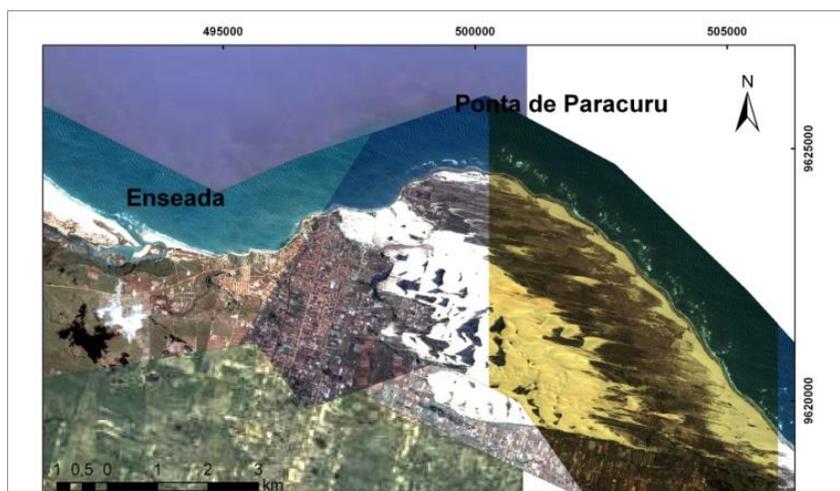


Figura 8. Ponta e enseada de Paracuru no litoral oeste do Estado do Ceará (Imagem *QuickBird*).



Foto 9. Falésias e plataforma de abrasão desenvolvidas ao longo da enseada a oeste da Ponta de Paracuru, litoral oeste do Ceará.

A Ponta de Paracuru induziu a acumulação de sedimentos na praia a barlar, o que propiciou a formação de extenso campo de dunas, mas também resultou em erosão na praia a sotamar em função da carência de sedimentos. Tal processo foi responsável pela esculturação de ampla enseada nesse segmento costeiro. A

carência de sedimentos é associada também ao fato de que nem todo o campo de dunas realiza o *bypass*, como em Jericoacoara. Porém, a formação de um esporão arenoso imediatamente a sotamar da ponta (Figura 10) indica que certo montante de sedimentos transpassa a ponta através do *bypass* litorâneo.

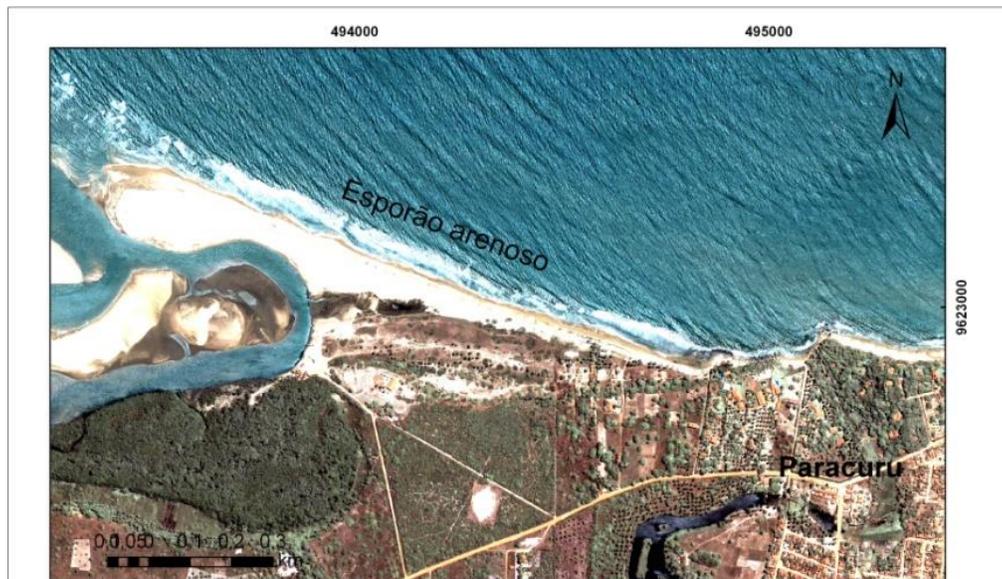


Figura 10. Esporão arenoso formado a sotamar da Ponta de Paracuru, indicando o aporte de sedimentos realizados pelo *bypass* litorâneo (Imagem *QuickBird*).

O campo de dunas móveis sobre a Ponta de Paracuru ocupa uma área de aproximadamente 12 km². Desse total, cerca de 4 km² representam dunas que realizam o *bypass*

costeiro, até atingir a praia a sotamar (Figura 11). Assim, a construção do esporão também vem sendo realizada a partir da contribuição de sedimentos aportados pelas dunas.

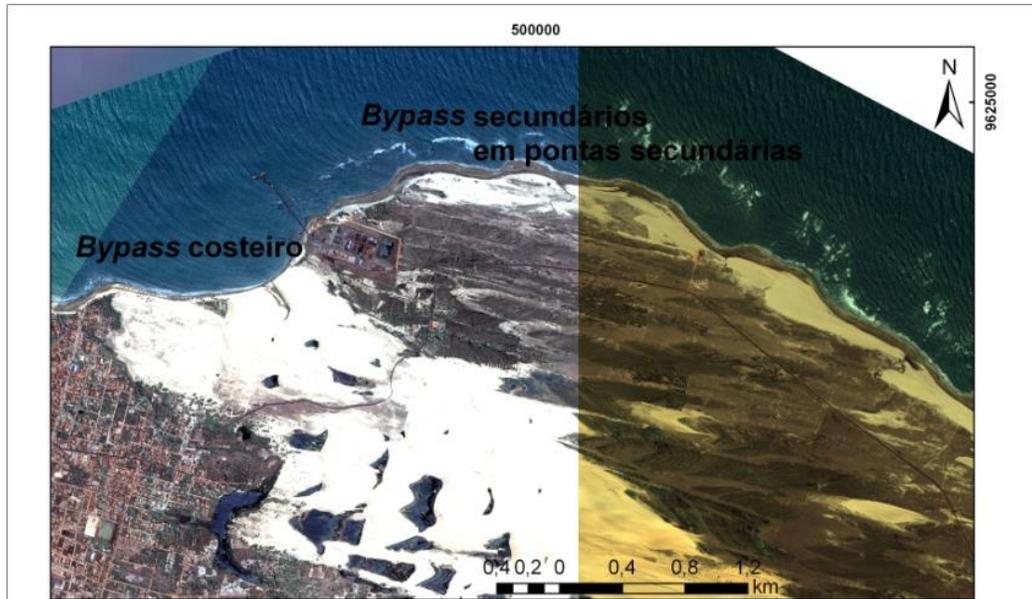


Figura 11. Dunas de bypass ao longo da Ponta do Paracuru, colocando em risco de soterramento parcela da cidade de Paracuru, a oeste (Imagem *QuickBird*).

Várias pontas litorâneas secundárias são identificadas ao longo do promontório, provavelmente em resposta a diferentes resistências dos sedimentos cenozóicos à ação das ondas (ver Figura 11). Com efeito, a erosão diferencial é um processo comumente verificado nos afloramentos de depósitos da Formação Barreiras, dada a substancial variação litológica que essa unidade apresenta. Nas pontas litorâneas secundárias, a mesma dinâmica se apresenta: acúmulo de sedimentos nas praia a barlar e erosão no segmento imediatamente a sotamar, resultando na forma típica de enseada.

A intensidade do *bypass* costeiro, dada a grande protuberância do promontório, assim como a grande extensão e dimensão do campo de dunas de *bypass*, vêm colocando em risco de soterramento parcela da área urbana da cidade de Paracuru, a qual se situa no caminho de migração das dunas (Castro, 2005; ver Figura

11). Na perspectiva de tentar resolver o problema, as dunas de *bypass* estão sendo fixadas através do plantio de espécies vegetais psamófilas. Nesse contexto, a Ponta do Paracuru representa um setor onde a ocupação desordenada de áreas de *bypass* costeiro e a interferência na dinâmica natural, além de não resolver adequadamente o avanço das dunas, também acentuam a erosão a sotamar do promontório, provocando risco às estruturas e equipamentos urbanos.

A Ponta de Flecheiras e entorno

A Praia de Flecheiras situa-se a 130 km a oeste de Fortaleza (para localização, ver Figura 2). Nela se formou uma ponta litorânea parcialmente submersa em marés de sizígia, com extensão de cerca de 1 km (Figura 12) e sustentada por antigas incrustações de ostras (Figura 13), sem existência de falésias.

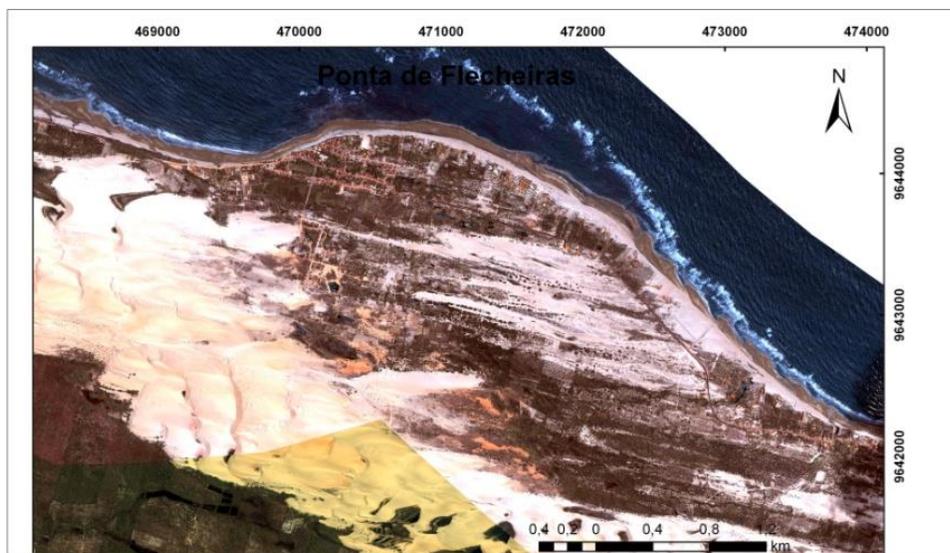


Figura 12. Ponta de Flecheiras, no litoral oeste do Estado do Ceará (Imagem *QuickBird*).



Figura 13. Plataforma de abrasão desenvolvida sobre antigas incrustações de ostras, modelando a Ponta de Flecheiras.

Essa construção biogênica provavelmente acha-se ancorada em altos do embasamento pré-cambriano ou da Formação Barreiras, ou de outras rochas fanerozóicas que compõem a borda da Bacia do Ceará, cuja estruturação eventualmente se estende até a zona costeira. Nesse sentido, essa ponta litorânea pode ter sido modelada, ao longo do tempo geológico, sob o controle de estruturas que não afloram na faixa de praia. A ausência de dados geofísicos da área não permite avaliações conclusivas (Carvalho, 2003).

Dada a pequena dimensão da Ponta do Flecheiras, poder-se-ia considerar que a

interrupção da deriva litorânea por ela produzida não seria muito acentuada. No entanto, as praias a barlar apresentam claros indícios de progradação, o que evidencia que o barramento é efetivo. Por outro lado, há a formação de enseada a sotamar, caracterizando a carência de sedimentos. A transferência pelo vento de areias da faixa de praia para o interior da zona costeira também ocorre, formando um amplo campo de dunas de *bypass*.

Ao longo da última década, a área de *bypass* de dunas foi quase completamente obstruída para a instalação de estruturas urbanas, como arruamentos e residências (Figura 14). Em

virtude dessa obstrução, a enseada está passando por processo erosivo, o que é perceptível pela proximidade cada vez maior das ondas transgressivas ao asfalto que dá acesso ao vilarejo, e pela evolução de uma nova

ponta litorânea a sotamar (Figura 15), igualmente sustentada por construções biogênicas, que na década de 1930 estavam submersas.



Figura 14. Obstrução do caminho de migração das dunas de *bypass* por estruturas urbanas em Flecheiras (Imagem *QuickBird*).

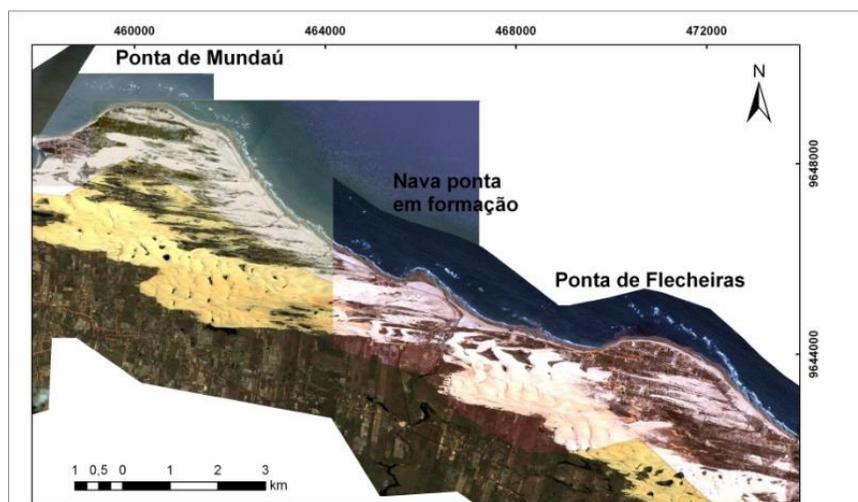


Figura 15. Nova ponta litorânea em formação a sotamar da Enseada de Flecheiras, por ação de ondas transgressivas deficitárias em sedimentos (Imagem *QuickBird*).

Na atualidade, antigas dunas fixas estão passando por processo de reativação (Figura 16; ver também Figura 12), por causas provavelmente naturais, tais como aumento da intensidade do vento. O aumento da intensidade do vento vem sendo considerado em diversos trabalhos (e.g. Claudino Sales, 2002; Carvalho,

2003; Maia et al., 2005), pois verifica-se a formação de novos campos de dunas no contato com a faixa de praia ao longo de toda a extensão da zona costeira cearense, bem como a exumação de elementos arqueológicos antes não identificados.



Figura 16. Reativação de dunas fixas e formação de *blowout* em Flecheiras. Os sedimentos trazidos da praia são agrupados aos remobilizados e estão realimentando a *bypass* costeiro (Image *QuickBird*).

As dunas que estão sendo reativadas estão retomando o caminho do *bypass* costeiro, colocando em risco de soterramento parcela das estruturas urbanas locais (ver Figura 14). Assim, a Ponta de Flecheiras representa uma situação na qual as intervenções sociais não foram suficientes para impedirem a dinâmica eólica, mas têm contribuído com o déficit de sedimentos para o *bypass* de dunas.

A Ponta/Porto do Mucuripe e entorno

A Ponta do Mucuripe está localizada na cidade de Fortaleza (Figura 17; para localização, ver Figura 2). Ocorre na forma de promontório baixo (~1.5 m de altitude na maré média), formado por afloramentos descontínuos de quartzito pré-cambriano (Figura 18). Ela define uma diferença de orientação da linha de costa, de S-SE/N-NO para SE-NO, o que está associado com estruturas herdadas do embasamento pré-cenozóico (Claudino Sales, 2002).



Figura 17. Ponta e Porto do Mucuripe em Fortaleza, capital do Ceará. Observar acreção a barlamar do espigão costeiro, da ordem de 450 m, resultante do efeito barreira criado pelo molhe costeiro construído (a leste da Ponta da Mucuripe) para impedir o transporte de sedimentos (*bypass* litorâneo) ao interior da bacia do porto. Toda a área de *bypass* costeiro está completamente ocupada por construções e equipamentos urbanos (Imagem *QuickBird*).



Figura 18. Plataforma de abrasão desenvolvida sobre rochas quartzíticas na Ponta do Mucuripe em Fortaleza. Ao fundo, um dos molhes costeiros construídos para dar proteção à bacia do Porto do Mucuripe.

A ponta foi objeto de inúmeras obras de engenharia, visando a instalação do Porto do Mucuripe na década de 1940 (Figura 17). Dois extensos molhes costeiros construídos para manter as condições portuárias interceptaram a deriva litorânea a sotamar (Morais, 1993; Figura 17). O montante de sedimentos anualmente interceptado por essas estruturas é calculado como sendo da ordem de 860.000 m³/ano (Maia, 1998). No entanto, fica evidente que parcela desses sedimentos consegue transpor os molhes costeiros na forma de *bypass* litorâneo e acumula-se dentro da bacia

portuária, modelando novas praias (Figura 17) e criando a necessidade de dragagens frequentes.

A agressiva interrupção da deriva litorânea induziu uma acumulação da ordem de 450 m de praia a barlar (Figura 17), bem como erosão de em torno de 100 m de praia na enseada durante os anos 1960 e 1970 (Morais, 1993). Numerosos molhes costeiros foram então construídos a sotamar com vistas à proteção da linha de costa (Figura 19). Esses molhes interromperam ainda mais a deriva litorânea e o transporte de sedimentos para oeste, assim estendendo a erosão para até 50 km a sotamar (Maia et al., 2005).



Figura 19. Molhes costeiros instalados ao longo da Enseada do Mucuripe para conter a erosão produzida pela interceptação de sedimentos a barlar da Ponta do Mucuripe, a qual foi largamente ampliada pelo Porto do Mucuripe (Imagem *QuickBird*).

Em adição à completa interrupção do *bypass* litorâneo, o *bypass* de dunas também foi completamente obstruído por construções realizadas ao longo de todo o campo de dunas durante as últimas décadas (Figura 17).

Assim, trata-se de uma área na qual o *bypass* costeiro foi completamente interrompido e onde o *bypass* litorâneo é hoje praticamente inexistente. Esses fatos geram uma situação de contínua necessidade de manutenção e

construção de novas obras de contenção do avanço do mar ao longo da orla de Fortaleza e tem levado a condição de intensa erosão nas localidades costeiras imediatamente a oeste da capital. Dessa forma, a Ponta/Porto do Mucuripe representa um contexto de completa alteração da dinâmica natural, o que resulta em efeitos negativos para a sociedade e para o meio ambiente.

CONCLUSÕES

A ocorrência rítmica de promontórios na zona costeira do Estado do Ceará controla a morfodinâmica dos locais onde ocorrem. Isso se deve ao fato desses promontórios interromperem o transporte de sedimentos realizado pelas correntes e ondas, o que permite ampla acumulação na forma de praias, e propicia assim o desenvolvimento de dunas nos segmentos a barlar. Ao mesmo tempo, e em virtude dessa interrupção, passa a haver carência de sedimentos a sotamar, ampliando a ação das ondas na esculturação de praias com disposição concava, do tipo enseada.

Apesar do efeito barreira produzido pelos promontórios, fica claro que eles não bloqueiam completamente o movimento das areias em direção a oeste, em todas as circunstâncias. Tal fato é ilustrado pela ocorrência do mecanismo de *bypass*, costeiro e litorâneo, o qual permite certa transferência de sedimentos através das pontas, de barlar para sotamar. Esse transpasse pode ser considerado como uma compensação natural à perda de sedimentos resultante do efeito de barreira

promovido pelos promontórios. De certo modo, esse processo controla a intensidade da erosão nas praias a sotamar, e chega o gerar acumulações localizadas, na forma de esporões.

Em vista da existência de forças unidirecionais muito bem definidas na área de estudo, interferências sociais na linha de costa podem provocar profunda alteração no padrão de transporte de sedimentos e assim, gerar mudanças significativas na morfologia litorânea.

Com efeito, em havendo interrupção do mecanismo natural de compensação sedimentar, representado pelo *bypass*, as praias a barlar podem passar por intensa progradação, assim como aquelas a sotamar, por drástica erosão. Tal situação indica serem necessários cuidados extremos quando da instalação de estruturas na faixa litorânea do Estado do Ceará e do Nordeste setentrional de forma geral, onde as pontas litorâneas se sucedem por uma extensão de mais de 1000 km.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte ofertado para a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CLAUDINO-SALES, V. **La zone côtière de l'Etat du Ceará, Nordeste du Brésil. Du long terme au court terme.** Paris, 2002, 549p. Tese (Thèse de Doctorat), URL de Géographie, Université Paris-Sorbonne.
2. CARVALHO, A.M. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões, Costa Noroeste do Estado do Ceará.** Salvador, 2003, 230p. Tese (Doutorado em Geologia). Departamento de Geologia, Universidade Federal da Bahia.
3. CASTRO, J.W.A. Burying processes carried out by a mobile transversal dunefield, Paracuru County, State of Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, v. 49, p. 214–218, 2005.
4. DE JULIO, K., 2012. A Ponta de Jericoacoara e seu potencial como sítio geológico do Brasil no Patrimônio Mundial (WORLD HERITAGE COMITEE – UNESCO). Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, 109p.
5. DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua de Marés do Porto do Mucuripe.** <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acessado pela última vez em março de 2010.
6. FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia. **Clima no Ceará.** <http://www.inpe.com.br>. Acessado pela última vez em março de 2010.
7. HASTENRATH, S. & HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, p. 77 – 92, 2006.
8. HESP, P., MAIA, L.P. & CLAUDINO-SALES, V.K. The Holocene barriers of Maranhão, Piauí e Ceará States, Northeast Brazil. In: HESP, P.; DILLENBURH, S (editors). **Geology of Holocene Barriers of Brazil.** Boston: Springer-Verlag, p. 325-343, 2009.
9. INPH. Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias. **Simulação do transporte de sedimentos em torno da Ponta do Pecém.** Fortaleza: Convênio Governo do Estado do Ceará, 31p., 1996.
10. JIMINEZ, J.A., MAIA, L.P., SERRA, J. & MORAIS, J.O. Aeolian dune migration along the Ceará coast, North-eastern Brazil. **Sedimentology**, v. 46, p. 689-701, 1999.
11. MAIA, L.P. (1998). **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral.** Barcelona, 1998, 269 p. Tese (Tesis Doctoral), Facultat de Geologia, Departament d'Estratigrafia, Universitat de Barcelona.
12. MAIA, L.P., FREIRE, G.S.S. & LACERDA, L.D. Accelerated Dune Migration and Aeolian Transport During El Niño Events along the NE Brazilian Coast. **Journal of Coastal Research**, v. 21, p. 1121-1126, 2005.
13. MARTIN, L. & SUGUIO, K. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths: example from the central Brazilian coast. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** v. 99, p. 119-140, 1992.
14. MORAIS, J.O. Geological Assessment of Environmental Impact on the Littoral of Fortaleza, Ceará, Brazil. **Urban Risks**, v. 2, p. 23-39, 1993.
15. PEULVAST, J.P. & CLAUDINO-SALES, V.. Stepped surfaces and palaeolandforms in the northern Brazilian “Nordeste”: constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**, v. 62, p. 89-122, 2004.
16. TINLEY, K.F. **Coastal dunes of South Africa.** South African National Scientific Programmes Report 109. Pretoria: Foundation for Research Development, Pretoria, 1985.
17. TSOAR, H., LEVIN, N., PORAT, N., MAIA, L.P., HERRMANN, H.J., TATUMI, S.H. & CLAUDINO-SALES, V. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil). **Quaternary Research**, v. 71, p. 217–226, 2009.

Manuscrito recebido em: 11 de Agosto de 2011

Revisado e Aceito em: 16 de Setembro de 2014