

ASPECTOS GERAIS DA EROÇÃO COSTEIRA NO BRASIL

Prof. Dr.rer.nat. Dieter Muehe
Universidade Federal do Rio de Janeiro
dieter@ufrj.br

RESUMO

Erosão ao longo do litoral brasileiro, apesar de sua ocorrência generalizada, e em alguns casos até bastante severa, não chega a constituir uma ameaça quando se considera a orla costeira como um todo. Os maiores problemas estão freqüentemente associados à intervenção do homem no fluxo de sedimentos ou à morfo-dinâmica de desembocaduras fluviais. No entanto, vulnerabilidade regional ocorre em áreas de perda permanente de sedimentos ou devido a fenômenos de subsidência. Diferenciações regionais nas forçantes climatológicas e oceanográficas impõem resposta diferenciadas aos variados ambientes geológico-geomorfológicos. Sete compartimentos costeiros distintos são analisados, abrangendo o litoral lamoso do Amapá, sob influência do aporte sedimentar do Amazonas, a costa semi-árida do Ceará e Rio Grande do Norte com a transferência de sedimentos para os campos de dunas, o litoral dos duplos cordões litorâneos do Rio de Janeiro e das barreiras múltiplas do Rio Grande do Sul.

Palavras chave: Erosão costeira, vulnerabilidade, Brasil.

ABSTRACT

Coastal erosion along the Brazilian shoreline although widespread and in some segment severe is not yet a serious threat considering the coast as a whole. Major problems are most frequently associated to human intervention in the sediment flux or associated to the morphodynamic of river mouth. But, regional vulnerability also occurs in areas of permanent loss of sediments or due to tectonic subsidence. Regionally differentiated climatologic and oceanographic forcing mechanisms impose different responses to the also varied geologic-geomorphologic environments. Seven distinct coastal environment are analyzed, ranging from the muddy coast of Amapá under strong influence of sediments from the Amazon river, to the semi-arid coast of Ceará and Rio Grande do Norte with permanent loss of sediments to the dune fields as also localized erosion of sedimentary cliffs, to the double barrier coast of Rio de Janeiro and the multiple barrier coast of the subtropical Rio Grande do Sul.

Key Words: Coastal erosion, coastal vulnerability, Brazil.

Introdução

O litoral do Brasil se estende da região equatorial às latitudes sub-tropicais do sul defrontando o Atlântico sul-oriental ao longo de mais de 8000 km (Figura 1). Conseqüentemente a zona costeira atravessa áreas de diferentes climas variando do equatorial ao subtropical assim como diferentes ambientes geológico-geomorfológicos.

A ocupação da área costeira é relativamente baixa considerando que apenas 20% (cerca de 30 milhões de pessoas) da população do país reside em municípios costeiros (MUEHE e NEVES, 1955). Concentrações maiores ocorrem nas proximidades das capitais com as maiores densidade nas proximidades do Rio de Janeiro, Salvador, Maceió, Recife e Fortaleza, seguido de Vitória e São Luís. É nessas áreas de maior ocupação que a erosão costeira se torna uma preocupação sendo freqüentemente agravada pela interferência do homem por meio de construções de estruturas que bloqueiam o trânsito livre de sedimentos, como por exemplo na estabilização de desembocaduras fluviais, na construção de instalações portuárias ou para a fixação da linha de costa.

A identificação das causas da erosão costeira tem sido freqüentemente um exercício de adivinhação devido à falta de informações sobre a tendência de variação do nível do mar, do clima de ondas e da evolução da linha de costa. Assim sendo tem sido difícil distinguir entre episódios de erosão ou progradação de tendências de longo prazo. Soma-se a isso. Em muitos casos, a falta de consenso sobre a tendência evolutiva de um dado segmento costeiro devido a diferenças metodológicas na investigação ou no período de tempo analisado.

Nos últimos anos têm sido realizados esforços pelos grupos de pesquisa associados ao Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM) com a finalidade de mapear a linha de costa para fins de identificação dos segmentos de maior vulnerabilidade como primeiro passo na identificação das áreas a serem pesquisadas e monitoradas mais detalhadamente. O presente artigo é um resumo dos principais resultados dessa investigação e de outros trabalhos independentes publicados sobre o assunto.

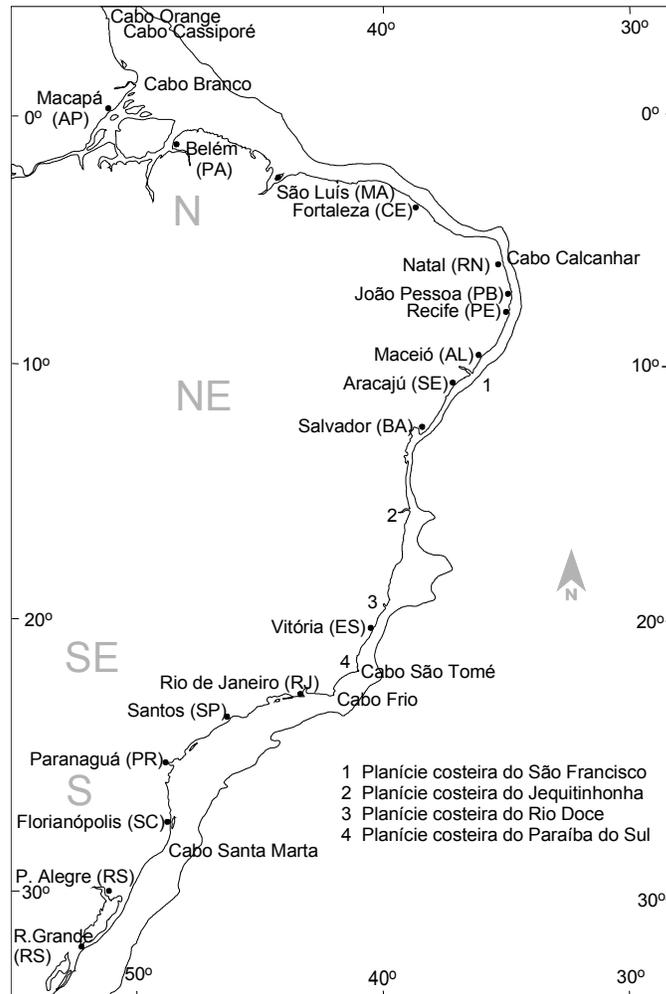


Figura 1: O litoral do Brasil com a localização das capitais, cabos e plataforma continental.

Principais Variáveis Indutoras dos Processos Costeiros

Grande parte do litoral, entre o Rio Grande do SUL e o estado de Alagoas no Nordeste, é submetido ao regime de micro-maré (<2 m). Em Rio Grande a amplitude da maré de sizígia se reduz para apenas 0,6 m. Amplitudes superiores a 4 m (macro-maré) ocorrem nos estados do Maranhão, parte do Pará (Salinópolis) ao Sul do Amapá. O restante do litoral, incluído pequenos segmentos como o interior da Baía de Todos os Santos e o terminal portuário de Sergipe, estão sob regime de meso-maré.

O clima de ondas é definido pela intensidade e direção dos ventos alísios geradas pelo ante-ciclone semi-estacionário do Atlântico Sul, com ondas de Leste e Sudeste na região equatorial que gradualmente vão ganhando a direção Nordeste à medida que se deslocam para latitudes mais elevadas. Alturas significativas variam entre 1 m e 2 m com aumento para 1,5 m e 2,3 m no extremo sul. Períodos de onda

variam entre 4 s e 6 s. A propagação de vagas e marulhos geradas por tempestades associadas ao deslocamento de frentes frias, modificam este padrão com aumento substancial das ondas e dos períodos que podem chegar respectivamente a mais de 3 m e mais de 14 s. A alternância entre condições de tempo bom e tempestade afeta o clima de ondas e o transporte de sedimentos de modo significativo do sul até o cabo Frio perdendo intensidade em direção a Salvador e Recife. Ondas geradas por tempestades tropicais do hemisfério norte atingem a região Nordeste na forma de marulho com períodos de até 18 s e exercem importante efeito erosivo conforme descrito por Maia (2002).

O padrão geral do transporte litorâneo de sedimentos, para um observador voltado para o mar, é para a esquerda entre o Amapá e o cabo Calcanhar e de São Paulo ao Rio Grande do Sul, e para a direita entre Alagoas até ao norte do Rio de Janeiro. A sul do cabo Calcanhar até a Paraíba e ao longo do litoral Leste-Oeste do Rio de Janeiro, entre o Cabo Frio e a Ilha da Marambaia, o transporte residual de sedimentos se aproxima de zero.

Importantes Fontes e Armadilhas de Sedimentos

A plataforma continental como principal fornecedora das areias que formam os amplos depósitos sedimentares costeiros foi pela primeira vez reconhecida no Brasil por Tricart (1959, 1960). A origem destes sedimentos pode ser relacionada à erosão dos depósitos sedimentares continentais tabuleiformes do Grupo Barreiras e outros (MUEHE, 1998) que, da região Norte até parte do Sudeste, bordejam descontinuamente a linha de costa em forma de falésias ativas ou fósseis de algumas dezenas de metros de altura. Concreções lateríticas, expostas na face das falésias e formadas na zona de flutuação do freático, são encontradas dispersas sobre a plataforma., atestando a posição pretérita das falésias. Uma fonte adicional de aporte sedimentar pode ser relacionada à presença de amplos vales fluviais, profundamente entalhados nos depósitos sedimentares, e que não estão condizentes com a pequena amplitude dos canais fluviais atuais, assim como o denso entalhamento do relevo cristalino das regiões Sudeste e Sul, atestando fases de intensa remoção e transferência de sedimentos do continente para a plataforma durante períodos de transição climática entre o úmido e o semi-árido.

A principais armadilhas de sedimentos constituem os campos de dunas das regiões Nordeste e parte da região Sul, assim como os depósitos arenosos que formam os cordões litorâneos, terraços e planícies flúvio-marinhas de parte da região Nordeste e das regiões Sudeste e Sul. A mais ampla expressão para o primeiro exemplo é o campo de dunas dos Lençóis Maranhenses que se estende por cerca de 20 km para o interior ao longo de uma linha de costa de aproximadamente 50 km. De forma descontínua, mas com importantes depósitos no Ceará e Rio Grande do Norte, onde o clima é seco, os campos de dunas se estendem até a Bahia, voltando a aparecer de forma significativa no litoral do Rio Grande do Sul e de forma pontual em Santa Catarina. A tendência erosiva de longo termo do litoral do Nordeste, a norte do Rio São Francisco, entre os Lençóis Maranhenses no Maranhão e Alagoas, foi constatada por Dominguez e Bittencourt (1966), a partir da quase ausência de remanescentes de depósitos pleistocênicos, da ocorrência de falésias ativas e de afloramentos de recifes de arenitos de praia. Efeitos certamente atribuíveis ao aprisionamento das areias nos campos de dunas. Uma tendência oposta foi atribuída pelos mesmos autores ao litoral entre o São Francisco e a planície de Caravelas, no Sul do Estado da Bahia. Neste segmento são comuns os depósitos pleistocênicos e terraços marinhos holocênicos, e raras as ocorrências de depósitos terciários próximas à linha de costa, indicando um balanço sedimentar positivo.

Avaliação da Erosão e Progradação da Tinha de Costa

Uma análise preliminar de relatórios de diversos grupos de pesquisa (ALBINO *et al.* 2004; ALMEIDA *et al.* 2004; ANGULO *et al.*, 2004; ARAÚJO *et al.*, 2004; CALLIARI *et al.*, 2004; CALLIARI e SPERANSKI, 2004; FREIRE, 2004; MANSO *et al.* 2004; TESSLER *et al.*, 2004; TOLDO Jr. *et al.*, 2004; VITAL, 2004) indica, de forma bem genérica, que no total de registros a erosão

predomina largamente sobre a progradação, com cerca de 40% concentrado nas praias, 20% nas falésias sedimentares e 15% nas desembocaduras fluviais. Relatos de progradação representam 10% relativo a praias e 15% a desembocaduras fluviais ou estuarinas. Assim sendo nas desembocaduras fluviais o número de ocorrências de erosão iguala a de progradação, confirmando o risco de intervenção neste ambiente de grande sensibilidade morfodinâmica.

Quanto às causas da erosão, 80% é atribuída à intervenção do homem relacionada à urbanização e à interferência no balanço sedimentar em decorrência da construção de estruturas rígidas. Assim sendo, o efeito de causas naturais sobre a erosão costeira parece desempenhar um papel secundário, pelo menos considerando períodos de curta duração. Naturalmente não se pode atribuir à construção de edificações muito próximas da praia o desencadeador da erosão. Não obstante, assim que uma seqüência de eventos erosivos provocar uma resposta erosiva mais significativa pondo em risco a estabilidade das construções, a resposta imediata é a colocação de defesas como estacas, muros, enrocamentos, espigões, sacos de areia, pneus, nas mais variadas composições e formas. Estas ações, por interferirem no perfil dinâmico da praia e no fluxo de sedimentos, amplificam e propagam o efeito erosivo.

Em resumo, fenômenos erosivos são freqüentes em todo o litoral, concentrando-se preferencialmente nas proximidades de desembocaduras fluviais e em segmentos localizados de áreas urbanizadas, muitas vezes a jusante de estruturas artificiais que alteram o balanço sedimentar, como, por exemplo, em Fortaleza, Recife e litoral Norte do Rio de Janeiro.

Apesar desta avaliação relativamente tranqüilizadora quanto aos riscos à erosão, alguns segmentos costeiros apresentam importante variabilidade da linha de costa, exigindo uma observação mais detalhada.

Compartimentos de Marcantes Características Geomorfológicas e Morfodinâmicas

Uma incursão pela literatura claramente permite identificar pelo menos sete compartimentos erosivos.

- i. O litoral lamoso do Amapá;
- ii. O litoral de dunas do Ceará;
- iii. O litoral das ilhas barreira e pontais de alta mobilidade do Rio Grande do Norte
- iv. O litoral das falésias ativas do Ceará e Rio Grande do Norte
- v. As planícies costeiras de cristas de praia da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro;
- vi. Os duplos cordões litorâneos do Rio de Janeiro
- vii. O litoral das barreiras múltiplas do Rio Grande do Sul.

O litoral Lamoso do Amapá

A plataforma continental, larga e rasa, é dominada pela intensa sedimentação de lamas provenientes do Amazonas via corrente das Guianas. A água é muito turva devido aos sedimentos em suspensão. Não obstante à abundância de sedimentos ocorre erosão em longos trechos do litoral. (DIAS *et al.*, 1992; NITTROUER *et al.* 1996).

O clima é quente e chove em abundância. Os alísios de sudeste sopram paralelamente ao litoral, mas mudam de direção para nordeste durante os meses de janeiro a março, quando aumentam de velocidade e passam a incidir perpendicularmente à linha de costa. Com o aumento da velocidade do vento as ondas se tornam mais altas e, em vez de causar erosão, trazem sedimentos finos da plataforma na forma de lamas flúidas (KINEKE e STERNBERG, 1995).

A amplitude da maré decresce de macro-maré a sul para meso-maré a norte do Cabo Norte. Segundo Nittrouer *et al.* (1996), as fortes correntes de maré, mais freqüentemente direcionadas para o oceano aberto, parecem ser o principal agente da erosão costeira. Acumulação de sedimentos ocorre nos cabos Orange e Cassiporé no setor norte do litoral enquanto a erosão é generalizada em toda a orla entre o Cabo Cassiporé e o Cabo Norte (Fig. 2), com acumulações restritas às desembocaduras fluviais.

Não obstante a presente tendência erosiva, a evolução durante o Holoceno foi, segundo Nittrouer *et*

al. (1996), de acumulação sedimentar com flutuações entre erosão e progradação em intervalos de 100 a 1.000 anos.

O Litoral de Dunas do Ceará

A constância dos ventos alísios e a pronunciada duração da estação seca (agosto a dezembro) período em que as velocidades do vento são maiores (até 8 m/s), assim como o abundante suprimento de areias da plataforma continental associado à larga exposição do estirâncio durante as baixas mares em regime de meso-maré, constituem as condições que favorecem o amplo desenvolvimento de dunas ao longo dos 572 km da costa do Ceará.



Figura 2 - Erosão no litoral do Cabo Norte, Amapá. (Foto G.T.M. Dias)

Taxas médias de migração das dunas foram determinadas por Maia *et al.* (1999), como sendo da ordem de 17,5 m/a para dunas barcana e 10 m/a para lençóis. O volume de transporte eólico foi estimado em 300.000 m³/a (VALENTINI e ROSMAN, 1993). A obliquidade de incidência das ondas é responsável pelo elevado volume de transporte sedimentar ao longo da linha de costa, chegando a 700.000 m³/a (MAIA et al. 1998; MAIA *et al.* 1999). A interrupção de um transporte litorâneo unidirecional desta magnitude é uma forte resposta erosiva a montante da obstrução do fluxo. Por exemplo a construção de um quebra-mar para proteção do porto de Mucuripe em Fortaleza, desencadeou um processo erosivo que praticamente destruiu as praias da cidade. A construção de espigões e muros não foi suficiente para conter a erosão. Posteriormente uma das principais praias da cidade, a praia de Iracema, foi recuperada por meio de aterro contido entre dois longos espigões (Fig. 3). Não se descarta a possibilidade de construção de um quebra-mar defronte dos espigões para impedir a perda de sedimentos por transporte perpendicular à praia. Outro exemplo é a construção do porto de Pecém a noroeste de Fortaleza que levou a um processo erosivo a montante da área de construção, apesar dos cuidados para não interromper o fluxo de sedimentos.

Além destes pontos localizados de erosão induzida, a maior parte, não urbanizada do litoral, parece soterrar sob o imenso volume de areia. A ampla ocorrência de arenitos de praia defronte à praia ou recobrando a face praial oferece alguma proteção por se comportarem como quebra mares. Semelhantes

a arenitos de praia ocorrem arenitos depositados caoticamente e de forma fragmentada sobre a berma da praia, atípico da estrutura compacta dos arenitos de praia. Possivelmente trata-se nesse caso de eolianitos que freqüentemente recobrem o topo das dunas frontais, localizadas a algumas dezenas de metros à retaguarda da praia. Se esta interpretação estiver correta estes arenitos indicariam a posição pretérita das dunas frontais, representando, sua atual posição, uma evidência da retrogradação da linha de costa, não obstante o elevado suprimento de areias da plataforma. Esta retrogradação se evidencia também nas ocorrências de exposições de raízes de mangue na berma da praia.



Figura 3- Espigões na praia de Iracema em Fortaleza. Busca de manutenção da praia.

O Litoral das Ilhas Barreira e Pontais de Alta Mobilidade do Rio Grande do Norte

O setor norte do Rio Grande do Norte compreende um trecho de 100 km de extensão voltado para o norte com forte e constante transporte sedimentar dirigido para oeste. O clima é seco e o aporte de sedimentos continentais é praticamente ausente. Dois conjuntos de falhas de direção NW-SE (sistema Afonso Bezerra) e outro de direção NE-SE (sistema Carnaubais) formam os lados de um triângulo cuja base é formada pela linha de costa defrontando uma planície costeira progradação. A influência tectônica na configuração da batimetria, assim como a submergência da borda oeste da fálha de Carnaubais, controlam a propagação das ondas e processos costeiros associados (VITAL *et al.*, 2003).

Um aspecto marcante deste segmento costeiro, certamente o mais dinâmico do litoral brasileiro, é a impressionante mobilidade das ilhas barreira e pontais que se estendem a diferentes distâncias defronte à planície costeira (Fig. 4).

Enquanto nas praias expostas ao oceano aberto o transporte sedimentar e o crescimento de pontais são direcionados para oeste, nas praias de baixa energia, protegidas pelas ilhas barreiras e pontais, o deslocamento é de rápida retrogradação. Isto é especialmente crítico devido à localização de poços de petróleo que, instalados originalmente a centenas de metros da orla, passaram a se defrontar diretamente com a erosão da linha de costa (Fig. 5), ao mesmo tempo em que dutos de óleo e gás se tornaram expostos no fundo marinho.



Figura 4 - Ilhas barreira defronte à orla da planície costeira (Foto: E.E. Toldo)

As razões desta erosão acelerada ainda não foram totalmente esclarecidas mas resultam necessariamente de insuficiente aporte sedimentar, perda por transferência de areias para o campo de dunas e neo-tectonismo.



Figura 5 - Retrogradação ampla da linha de costa colocando em risco os poços de petróleo

O Litoral das falésias ativas do Ceará e Rio Grande do Norte

No litoral sudeste do Ceará assim no sul no Rio Grande do Norte a predominância de dunas é interrompida pela presença de falésias ativas do Grupo Barreiras. Não se apresentam restritas a esses

trechos pois também ocorrem em outros estados compartilhando os mesmos problemas dos narrados a seguir. Morro Branco no Ceará e Pipa no Rio Grande do Norte são exemplos representativos e, pela sua beleza, pontos de atração turística.

No Rio Grande do Norte as falésias se estendem ao longo de grande parte do litoral sul, a partir de Tibau do Sul até o limite com a Paraíba (Fig. 6). As falésias ativas, conforme descrito por Silva *et al.* (2003), estão limitadas ao setor central deste trecho, sendo solapadas pelas ondas durante as preamares resultando em gradual recuo da escarpa. Devido à construção de casas e piscinas no topo das falésias, ocasionando um esforço adicional de cisalhamento, toda a área se apresenta submetida a elevado risco.



Figura 6 - Falésias ativas no segmento Tibau do Sul – Pipa (RN)

As planícies costeiras de cristas de praia da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro

Localizadas numa faixa de latitudes na qual a direção residual do transporte longitudinal é definido pela dominância entre a obliquidade de incidência das vagas de nordeste, geradas pelos alísios e os marulhos originadas por tempestades das altas latitudes do sul, a evolução das planícies de cristas de praia dos rios São Francisco (Al/Se), Jequitinhonha (Ba), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ) (Fig. 7), tem sido fortemente controlada por estes processos de transporte sedimentar (DOMINGUEZ *et al.*, 2003).

Dois mecanismos controladores da evolução das planícies foram reconhecidos: o espigão ou dique hidráulico como retentor dos sedimentos transportados pela corrente litorânea, levando a uma configuração assimétrica da desembocadura e sua migração para jusante da direção do transporte longitudinal com migração da desembocadura para jusante do transporte longitudinal durante períodos de reduzida descarga fluvial; e a inversão da direção residual do transporte longitudinal de acordo com mudanças na frequência relativa da direção de incidências das ondas (DOMINGUEZ *et al.* 2003).

A reconstituição das inversões da direção do transporte longitudinal a partir da orientação e truncamento de cristas de praia, assim como o crescimento e truncamento da configuração em cuspide da desembocadura fluvial associado respectivamente a períodos de elevada e baixa descarga fluvial, foi apresentado por Dominguez *et al.* (2003) para a planície costeira do Jequitinhonha. Os mesmos autores relatam que, nos últimos 300 anos, teria ocorrido o desenvolvimento de três fases de formação de cúspides na desembocadura interrompidas por episódios de intensa erosão, o último em 1906, seguido de ampla

progradação. Estas mudanças são interpretadas pelos autores como sendo o resultado de um decréscimo de entradas de frentes frias com decorrente redução das precipitações na bacia hidrográfica, redução da descarga de sedimentos e redução na frequência de chegadas de ondas e vagas de sul e sudeste.



Figura 7 - Cristas de praia da planície costeira do rio Paraíba do Sul. Conjuntos truncados de feixes de cristas podem ser observados na margem direita indicando episódios de deslocamento lateral da desembocadura fluvial. Atualmente o segmento distal da margem direita se encontra sob severa erosão.

Importante no reconhecimento das inter-relações entre descarga fluvial, clima, direção das ondas e fonte de sedimentos, é a inerente instabilidade de desembocaduras fluviais. Atualmente as desembocaduras do São Francisco e Paraíba do Sul apresentam erosão severa na suas margens direitas, com total destruição do pequeno povoado de Cabeços na primeira e erosão severa, com destruição de casas, na segunda (Fig. 8). Ambos os rios foram afetados pela redução da descarga fluvial pela construção de barragens. Outras causas porém precisam ser também consideradas. Por exemplo o segmento sob erosão em Atafona se localiza a montante de uma célula de transporte litorâneo com transporte residual sazonal sempre dirigido para o sul, isto é em direção contrária à da desembocadura. Além disto, a retenção de areias no interior do canal fluvial, a transformação de um muro em espigão devido ao recuo da linha de costa e principalmente o trapeamento da areias da antepraia pela deposição de lamas fluviais nas proximidades da desembocadura atuam em conjunto no sentido de reduzir o aporte de sedimentos para praia.

Os duplos cordões litorâneos do Rio de Janeiro

Do Cabo Frio até à Ilha da Marambaia, defronte à Baía de Sepetiba, a orientação da linha de costa passa abruptamente para uma direção leste-oeste. Longos e estreitos cordões litorâneos, o barreiras arenosas, caracterizam a frente oceânica desta costa, freqüentemente formando duplos cordões com lagunas represadas à sua retaguarda nas quais se depositam os sedimentos dos maciços costeiros adjacentes (Fig. 9).

Dunas frontais, quando presentes, desempenham importante papel na estabilização desses cordões transgressivos, submetidos a processos de transposição pelas ondas.



Figura 8 - Erosão da frente oceânica na margem direita da desembocadura do Paraíba do Sul em Atafona.

Uma tempestade excepcionalmente forte ocorrida em maio de 2001 (MUEHE e FERNANDEZ (1999); MUEHE *et al.* (2001), causou forte erosão no Município de Maricá e Saquarema, a leste da Baía de Guanabara, com destruição de casas e ruas (BARROS, 2003). Ali, como ocorre freqüentemente, foram construídas casas muito próximas da praia o que levou à destruição generalizada (Fig. 10). No entanto, o que poderia ser considerado uma resposta a um evento isolado representa na realidade uma tendência de retrogradação da linha da pós-praia conforme indica a retrogradação da ordem de 11 m de um segmento de dunas frontais, localizado 5 km a oeste de Arraial do Cabo (Cabo Frio), na praia da Massambaba, e que vem sendo monitorado há cerca de oito anos).

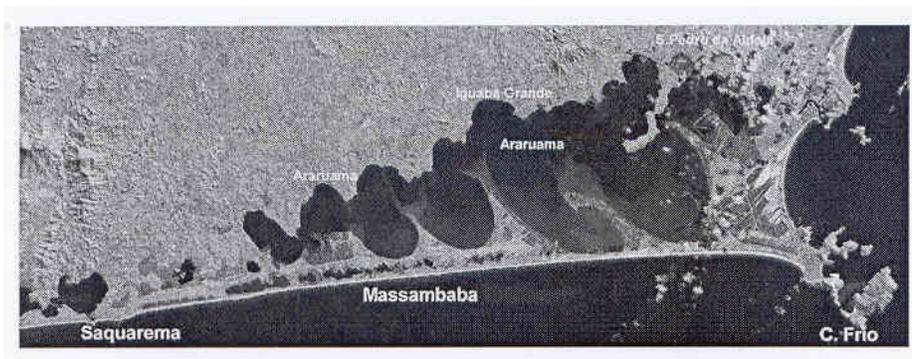


Figura 9- Segmento com duplos cordões litorâneos do litoral do Rio de Janeiro.

Considerações Finais

De forma generalizada ocorre erosão ao longo de todo o litoral com áreas mais significativamente comprometidas restritas a segmentos bem definidos, muitas vezes resultado da intervenção no balanço de sedimentos através da construção de estruturas rígidas com a finalidade de proteger a costa ou instalações portuárias. Tais construções geralmente desencadearam ou intensificaram o processo erosivo resultando na construção de novas estruturas de retenção ou proteção como espigões e muros. Os exemplos mais críticos destas intervenções são encontradas em Fortaleza e Recife-Olinda. Outros exemplos de segmentos

críticos se localizam na vizinhança de desembocaduras fluviais, em parte como resultado da própria morfodinâmica mas também como resultado de modificações naturais ou induzidas no regime de vazão fluvial e na variação do aporte de sedimentos.

Problemas sempre surgem devido à localização de construções muito próximas da praia, freqüentemente alcançando o perfil de tempestade. O problema já foi devidamente reconhecido e normas foram elaboradas fixando a largura de uma faixa de não edificação. Entretanto, estas normas ainda não são respeitadas de modo mais amplo, além de não ser possível remover as construções já efetuadas.



Figura 10 - . Erosão na frente urbanizada em Barra de Marica z leste da Baía de Guanabara (RJ) após intensa tempestade em maio de 2001.

A ausência de monitoramentos de longo termo da mobilidade da linha de costa, do clima de ondas e do nível do mar torna difícil a distinção entre eventos e tendências. Classificações contraditórias, entre risco elevado e estável, para o mesmo segmento costeiro, são típicas de interpretações sem apoio em informações mais amplas.

Considerando que no conjunto a linha de costa não se apresenta submetida a riscos iminentes de grande amplitude, há no entanto aspectos a serem levados em conta. Grande áreas, como parte da região Nordeste, apresentam déficit sedimentar devido à transferência de sedimentos para o campo de dunas. Cordões litorâneos ao longo das regiões Sudeste e Sul recuaram durante as oscilações transgressivas do Holoceno e apresentam atualmente características transgressivas com transposição de ondas e erosão localizada. A declividade da antepraia e plataforma continental interna nas regiões Norte e Nordeste é muito baixa resultando em amplos recuos da linha de costa no caso de uma elevação do nível do mar (MUEHE, 2002, 2001). Neste cenário, a exposição de recifes de arenito de praia defronte a longos trechos do litoral do Nordeste terá reduzido seu papel de proteção à praia devido ao aumento da altura das ondas em decorrência do aumento da profundidade da água, levando a um reajuste do perfil da praia. As falésias sedimentares das regiões Norte, Nordeste e parte do Sudeste representam uma boa proteção à erosão pois, apesar do aumento da taxa de retrogradação em adaptação a um nível do mar mais elevado, esta taxa continuará a ser muito lenta já que parte do déficit sedimentar é coberto pela incorporação dos sedimentos ao perfil da antepraia, liberados pelo processo erosivo.

Tendências recentes sobre variações do nível do mar para diferentes locais ao longo do litoral brasileiro não são conhecidas. Um registro de 42 anos de duração para o porto de Recife indicou, para o período de 1946 a 1988, uma elevação de 5,6 mm/ano (HARARI e CAMARGO, 1994 *in* NEVES e MUEHE,

1995). Para o porto do Rio de Janeiro a análise de um registro do período de 1965 a 1986 indicou forte elevação de 12,6 mm/ano (SILVA 1992 *in* MUEHE e NEVES, 1995). Análises subsequentes de dados mais recentes mostraram a não manutenção desta tendência (comunicação pessoal do Dr. Cláudio Neves) no entanto o resultado não foi publicado até o momento. Uma elevação do nível do mar, a partir do início da década de 70, foi também relatada para o litoral de São Paulo (Cananéia) por Mesquita e Harari, 1983 (*in* MUEHE e NEVES, 1995). Uma outra variável a ser considerada é a mudança climática. Registros de altura de ondas são raros e descontínuos. Somente em anos mais recentes vem sendo instalada uma rede de medição. Um aumento na intensidade das tempestades foi inferido por Neves Fo. (1992) a partir da constatação de um aumento nos desvios entre a altura das marés previstas e medidas na Ilha Fiscal, interior da Baía de Guanabara e Cananéia, São Paulo no período de 1965 e 1986. Isto poderia explicar a erosão nos cordões litorâneos do litoral do Rio de Janeiro, mas estaria em desacordo com sugerido decréscimo de avanço de frentes frias.

Concluindo, apesar de algumas interpretações contraditórias para a atual mobilidade da linha de costa assim como a dificuldade de identificar tendências confiáveis para o clima de ondas e elevação do nível do mar, uma fragilidade potencial da linha de costa pode ser identificada. Deste modo, a única maneira de reduzir futuros problemas devido à erosão costeira, é a firme implementação de programas de gerenciamento costeiro em todos os municípios litorâneos de forma a conduzir e controlar a urbanização, estabelecer zonas de não edificação juntamente com o monitoramento de segmentos costeiros assim como a expansão e manutenção de redes para medições contínuas e de longa duração de marés e ondas.

Bibliografia

ALBINO, J.; GIRARDI, G.; NASCIMENTO, A.K. e SANTOS, F. Atlas de erosão e progradação costeira do litoral do Espírito Santo. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.

ALMEIDA, E.S.B.; LIMA, S.F. e TOLDO Jr., E.E. Estimativa da capacidade de transporte de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.

ANGULO, R.J.; SOARES, C.R.; MARONE, E.; SOUZA, M.C.; ODRESKI, L.L.R. e NOERNBERG, M.A. Atlas de erosão costeira do estado do Paraná. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.

ARAÚJO, T.C.M.; SANTOS, R.C.A.L.; SEOANE, J.C.S. e MANSO, V.A.V. Atlas de erosão e progradação costeira do litoral do estado de Alagoas. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.

CALLIARI, L. e SPERANSKI, N. Padrões de refração para a costa do Rio Grande do Sul e erosão costeira. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.

CALLIARI, L.J.; SPERANSKI, N.S. e BOUKAREVA, I.I. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. Proceedings of the International Coastal Symposium, Florida, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 26, 1998. pp. 19-23.

CALLIARI, L.J.; TOLDO, Jr., E.E. e NICOLODI, J.L. Classificação geomorfológica da linha de costa do Rio Grande do Sul. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.

BARROS, F.M.L.; MUEHE, D. e ROSO, R.H. Erosão e danos na orla costeira do município de Marica, RJ. In. **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**, 2003. (Recife, Brazil). CD, 5p.

DIAS, G.T.M.; RINE, J.; NITTRouer, C.A.; ALLISON, M. KUEHL, S.A.; SUCASAS, C.P. e FIGUEIREDO, A.G. Géomorphologie côtière de l'Amapá - Brésil. Considerations sur la dynamique sédimentaire actuelle. In: PROST, M.-T. (ed.). **Évolution des littoraux de Guyane et de la zone Caraïbe méridionale pendant le Quaternaire**. Simpósio PICG 274/ORSTOM. (Caiena, Guiana), ., 1992. pp. 151-

158.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C. da S.P. e MARTIN, L. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies litorâneas associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (Al-Se), Jequitinhonha (Ba), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ), **Revista Brasileira de Geociências**, 1983. 13(2), 98-105.

DOMINGUEZ, J.M.L. e BITTENCOURT, A.C. da S.P. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion. in. **Northeastern Brasil. Anais da Academia brasileira de Ciências.**, volume 68, No. 3, 1996. pp.355-371.

DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L. e BITTENCOURT, A.C. da S.P. Episodes of severe erosion in the Jequitinhonha river strandplain caused by changes in river discharge and coastal wave climate. In. **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.** (Recife, Brazil), 2003. CD, 3p.

ESTEVEZ, L.S.; SILVA, A.P.; AREJANO, T.B.; PIVEL, M.A.G. e VRANJAC, M.P. Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 35, 2003. pp. 548-556.

ESTEVEZ, L.S.; TOLDO JR., E.E. e DILLENBURG, S.R. Long- and short-term coastal erosion in Southern Brazil, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 36, 2003. pp. 273-282.

FREIRE, G.S.S. Atlas de erosão costeira do estado do Ceará. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press.*

HARARI e CAMARGO. Tides and mean sea level in Recife (PE) – 8° 3.3'S 34° 51.9'W –1946 to 1988, **Boletim do Instituto Oceanográfico.** Universidade de São Paulo, 1994.

KINEKE, G.G. e STERNBERG, D.A., Distribution of fluid muds on the Amazon continental shelf, **Marine Geology**, 125, 1995. 193-233.

LÉLIS, R.J.F. e CALLIARI, L.J. Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul, Brasil. In. **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, 2003. (Recife, Brazil). CD, 5p.

MAIA, L.P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral.** University of Barcelona, Ph.D. Thesis, 1998.

MAIA, L.P. **Estudo hidrológico-sedimentológico da praia do Meireles.** Technical Report. Universidade Federal do Ceará, 2002. 57p.

MAIA, L.P.; JIMÉNEZ, J.A.; FREIRE, G.S.S. e MORAIS, J.O. Dune migration and aelian transport along Ceará (NE Brazil). Downscaling and upscaling aeolian induced processes, **Coastal Sediments.** (Recife, Brazil), 1999. pp. 1220-1232.

MANSO, V.A.V.; COUTINHO, P.N.; GUERRA, N.C. e SOARES Jr. Erosão do Litoral de Pernambuco. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press.*

MESQUITA, L. R. e HARARI, J. **Tides and tide gauges of Ubatuba and Cananéia.** Technical report. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, volume 11, 1983. pp. 1-14.

MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2001. 2(1),35-44.

MUEHE, D. Beach morphodynamic research in Brazil: Evolution and applicability, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 35, 2003. pp. 32-42.

MUEHE, D. e FERNANDEZ, G.B. O efeito de tempestades como realimentador do estoque de sedimentos de dunas frontais submetidas a vento predominante da terra para o mar. In. **VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, 1999. (Porto Seguro, Ba). CD.

MUEHE, D.; FERNANDEZ, G.B. e SAVI, D.C. Resposta morfodinâmica de um sistema praia-antepraia a oeste do cabo Frio exposto às tempestades de maio de 2001. In. **VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.** (Mariluz, Imbé, RS) Boletim de Resumos, 2001. pp. 63-64.

MUEHE, D. e NEVES, C.F. The implication of sea level rise on the Brazilian coast: a preliminary assessment, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 14, 1995. pp. 54-78.

- NEVES, C.F. e MUEHE, D. Potential impact of sea-level rise on the metropolitan region of Recife, Brazil, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 14, 1995. pp. 116-131.
- NEVES Fo., S.C. **Varição da maré meteorológica no litoral Sudeste do Brasil:1965-1986**. M.Sc. Thesis. Programa de Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992. 80p.
- NITTROUER, C.A., KUEHL, S.A., FIGUEIREDO, A.G., ALLISON, M.A., SOMMERFIELD, C.K., RINE, J.M., FARIA, L.E.C. & SILVEIRA, O.M. The geological record preserved, **Amazon shelf sedimentation. Continental Shelf Research**, 1996. 16(5/6), 817-841.
- SILVA, G.N. **Variações do nível médio do mar; causas, conseqüências e metodologia de análise**. M.Sc. Thesis. Programa de Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992. 93p.
- SILVA, W. de S.; SANTOS JR., O.F.; AMARAL, R.F. e SCUDELARI,, A.C. Erosão costeira nas falésias Tibau do Sul - Litoral Leste do Rio Grande do Norte. In. **II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 2003**. (Recife, Brazil). CD, 5p.
- SPERANSKI, N.S. & CALLIARI, L.J. Bathymetric lens and coastal erosion in southern Brazil. **International Coastal Symposium 2000**, 2000 (Rotorua, New Zealand). Program and abstracts pp.81.
- TESSLER, M.G.; GOYA, S.C.; YOSHIKAWA, P.S. e HURTADO, S.N., 2004. Atlas de Erosão e Progradação Costeira do Litoral do Estado de São Paulo. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil**, 2004. *In press*.
- TOLDO Jr., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.; NICOLODI, J.L. e MARTINS, L.R., 2004. Erosão e acreção da zona costeira do Estado do Rio Grande do Sul. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil. 2004. In press**.
- TOMAZELLI, L.J. e VILLWOCK, J.A. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil, **Pesquisas**, 1992. 19(1), 3-12.
- TOMAZELLI, L.J. e VILLWOCK, J.A. Quaternary geological evolution of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. In. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, volume 68, No. 3, 1996. pp.355-371.
- TRICART, J. Problèmes geomorphologiques du littoral oriental du Brésil, **Cahiers de Oceanographie**, volume 11, 1959. pp. 276-308.
- TRICART, J. Problemas geomorfológicos do litoral oriental do Brasil, **Boletim Baiano de Geografia**, 1960. 1(1), 5-39.
- VILLWOCK, J.A., 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, A **Synthesis. Pesquisas**, 1984. 16, 5-49.
- VALENTINI, E. e ROSMAN, P.C.C., 1993. Erosão costeira em Fortaleza, **Revista Brasileira de Engenharia - Cadernos de Recursos Hídricos**, volume 10 No. 1, 1993. pp. 373-381.
- VITAL, H., 2004. Atlas de erosão e progradação costeira do litoral do estado do Rio Grande do Norte. **Technical Report. Atlas de Erosão e Progradação do litoral do Brasil. 2004. In press**.
- VITAL, H.; STATTEGGER, K.; TABOSA, W.F. e RIEDEL, K., 2003. Why does erosion occur on the Northeastern coast of Brazil? The Caiçara do Norte beach example, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 35, 2003. pp. 525-529.

Trabalho enviado em novembro de 2005

Trabalho aceito em fevereiro de 2006