

Souza, C.R. de G. 2009. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado, pp.48-69, Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85-7523-025-1).

**A EROSÃO NAS PRAIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO: CAUSAS,
CONSEQÜÊNCIAS, INDICADORES DE MONITORAMENTO E RISCO**

Celia Regina de Gouveia Souza¹

RESUMO

As praias oceânicas são os ambientes mais dinâmicos e sensíveis do planeta. São compostas de material inconsolidado, como areia e cascalho, e exercem diversas funções sócio-ecológicas, sendo a principal delas a proteção do continente contra o ataque erosivo de ondas e marés de tempestade. Desde a pré-história, as praias vêm desempenhando importantes papéis para as populações humanas; na atualidade, o turismo costeiro constitui a principal atividade econômica de muitos países, em todos os continentes. Essa atividade, no entanto, tem sido seriamente ameaçada pela erosão costeira, fenômeno que já é considerado mundial, pois afeta a maioria das costas do

¹ Instituto Geológico – SMA/SP. Av. Miguel Stéfano, 3900. 04301-903. São Paulo-SP. Programa de Pós-Graduação do Depto. de Geografia da Universidade de São Paulo. celia@igeologico.sp.gov.br

planeta. No Brasil e, em especial, no Estado de São Paulo, a situação não é diferente, uma vez que mais de 50% das praias paulistas se encontram em risco alto e muito alto de erosão. Embora as causas antrópicas para o fenômeno sejam diversas, vários processos naturais também devem ser considerados, destacando-se a elevação atual do nível do mar e seus impactos. Este trabalho apresenta alguns dos principais conceitos sobre o ambiente físico das praias e aborda o fenômeno da erosão costeira, suas causas, indicadores de monitoramento e classificação de risco das praias do Estado de São Paulo.

Palavras-chave: praias, erosão, causas, indicadores, Estado de São Paulo.

1. Introdução

Os ecossistemas costeiros são ambientes influenciados por processos continentais e marinhos, que interagem através de variáveis físicas, químicas, biológicas, climáticas e antrópicas, as quais se interrelacionam de maneira complexa, estabelecendo um equilíbrio dinâmico (Souza, 2001). Dentre esses ecossistemas, as praias oceânicas são os mais dinâmicos e sensíveis, pois dependem também de uma ampla variação em escala temporal, entre curtas flutuações (diárias, semanais e mensais) e flutuações de longo período (até milhares de anos).

As praias oceânicas desempenham múltiplas funções sócio-ecológicas, entre elas: proteção costeira natural para os ecossistemas adjacentes ou mesmo os equipamentos urbanos, contra o ataque de ondas e marés de tempestade; habitat para várias espécies animais e vegetais; recreação e lazer; esportes; turismo; e atividades econômicas diretas e indiretas (Souza *et al.*, 2005).

As praias sofrem diversas pressões oriundas de atividades e intervenções antrópicas sobre elas ou na zona costeira, mas também pressões naturais importantes, como a elevação do nível relativo do mar (NM) e os reflexos das mudanças climáticas. Essas pressões, em conjunto, estabelecem um cenário de degradação ambiental e situações de risco à erosão costeira, que devem se intensificar nas próximas décadas, transformando a linha de costa em espaços de manejo crítico.

Dados relativos à década de 1990 mostravam que, já naquela época, 70% das praias arenosas do planeta estavam em erosão, 20% em deposição e apenas 10% se encontravam em relativa estabilidade (Bird, 1999). As razões para essa predominância de erosão ou retrogradação da linha de costa no mundo foram atribuídas a causas naturais e antrópicas. Entretanto, a maioria dos autores acreditava e ainda acredita que a principal causa esteja mesmo relacionada à elevação do NM durante o último século. Bruun & Schwartz (1985), por exemplo, concluíram que entre 10 e até 100% das causas da erosão observada nas praias arenosas do planeta podem ser atribuídas à elevação atual do NM.

A erosão costeira é, portanto, um fenômeno mundial que deve se intensificar nas próximas décadas em decorrência da continuidade e aceleração da elevação do NM. Excetuando-se as causas tectônicas, a elevação atual do NM pode ser atribuída principalmente à expansão termal dos oceanos, ao derretimento dos glaciares, geleiras continentais e capas de gelo eternas (permafrosts), e ao derretimento das calotas polares na Groenlândia, no Ártico e na Antártida (IPCC, 2007). A mais perniciosa dessas contribuições parece ser a expansão termal dos oceanos, que foi responsável por cerca de 50% de toda a elevação do NM ocorrida na última década.

Para os próximos 90 a 100 anos, as previsões do IPPC (2007) para o NM são de elevação entre 0,18 e 0,59 m acima do atual, com aumento da temperatura do planeta da ordem de 1,8 a 4,0° C. Entretanto, outros grupos de cientistas, a exemplo de Rohling *et al.* (2007) prevêm que essa elevação do NM será bem maior, de até 1,6 m.

Estudos realizados no âmbito do 3º Relatório do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas em 2001 (IPCC, 2001), indicam que, mesmo que as emissões de CO₂ sejam reduzidas e estabilizadas, a temperatura da superfície do planeta continuará se elevando (embora mais lentamente) durante um século ou mais, da mesma forma que o NM também continuará a subir por muito mais tempo, devido aos efeitos inerciais que envolvem esses processos.

Este trabalho apresenta alguns conceitos importantes sobre o ambiente físico das praias, o fenômeno da erosão costeira e suas conseqüências, suas causas naturais e antrópicas no Brasil, bem como os indicadores de monitoramento da erosão costeira utilizados para o estabelecimento da classificação de risco nas praias de São Paulo.

2. Praias Oceânicas

As praias oceânicas constituem um conjunto de zonas ou setores denominado de sistema praial (Figura 1), o qual é geralmente representado em duas dimensões, através da diferenciação dos respectivos processos que ocorrem em cada zona ao longo de um perfil transversal à linha de costa (Souza *et al.*, 2005). Este perfil apresenta como limite superior ou interno (no sentido do continente) a linha de vegetação permanente ou qualquer alteração fisiográfica brusca (falésia, duna ou mesmo estruturas construídas pelo homem como muretas, muros, anteparos etc.), e limite inferior ou externo (no mar) o nível base de ação das ondas normais, ou profundidade de fechamento da praia.

Abaixo desta área está a zona de transição para a plataforma continental interna (zona de costa-afora), sendo o limite entre ambas o nível base das ondas de tempestade.

As praias oceânicas variam suas características físicas (granulométricas e morfológicas), e até certo ponto também as bióticas, em função de condicionantes geológicos, geomorfológicos e oceanográficos locais. Dentre os principais condicionantes geológicos-geomorfológicos estão as características fisiográficas da planície costeira e da plataforma continental adjacentes à praia. Os condicionantes oceanográficos, que de certa forma também dependem da fisiografia costeira, determinam o clima de ondas (ex. altura e período das ondas) e as condições de maré e vento, sendo fortemente influenciados pela dinâmica climática regional.

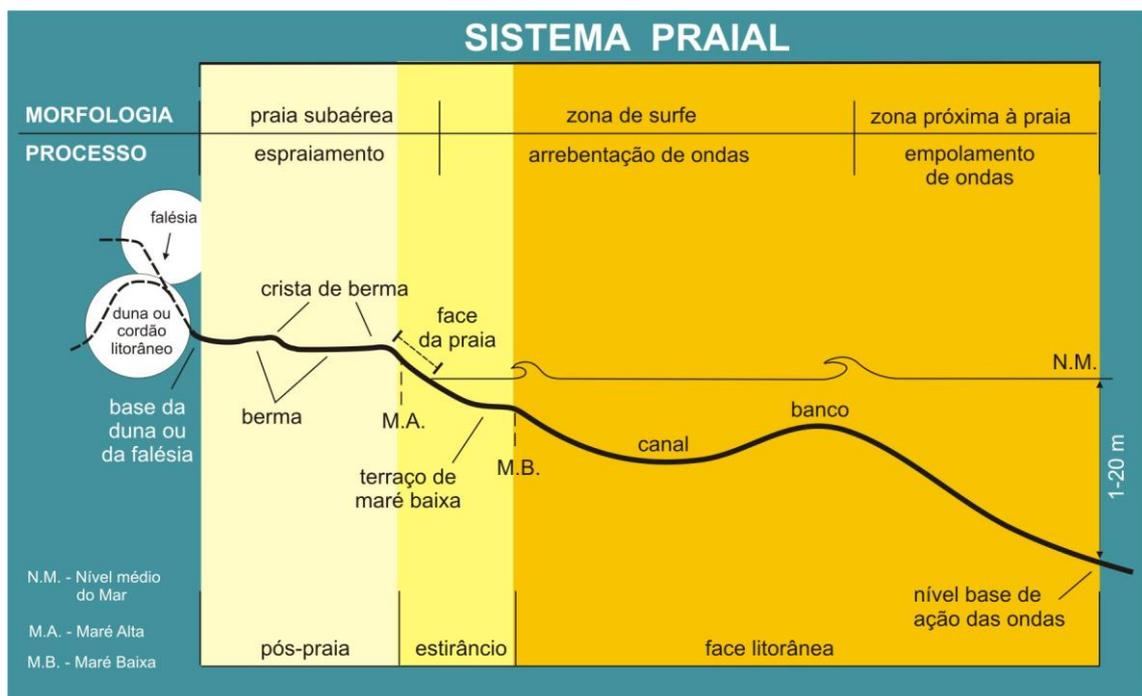


Figura 1. O sistema praial (Souza *et al.*, 2005).

Assim, o conceito de estado morfodinâmico de uma praia é usado para qualificar o conjunto de propriedades físicas dessa praia, incluindo toda a assembléia de formas deposicionais e sua relação com os processos hidrodinâmicos que nela atuam (Sazaki, 1980 *apud* Carter, 1988; Short, 1991, 1999; Masselink & Short, 1993).

De maneira genérica, os estados morfodinâmicos podem ser atribuídos a três tipos principais: dissipativo (praias amplas, de areias finas, perfil plano e suave, larga zona de surfe e várias quebras de ondas), reflexivo (praias de menor extensão, de perfil íngreme com bermas, em geral formadas de areias muito grossas a grossas, com zona de surfe muito estreita e uma quebra de ondas na face praial), e intermediário que, segundo Short (1999), é formado por quatro estados intermediários entre os outros dois. Masselink & Short (1993) definiram ainda um outro tipo, no qual predomina a ação das marés, denominado ultradissipativo.

Souza (1997, 2001), estudando as praias do Estado de São Paulo, introduziu ainda os conceitos de “alta energia” (costas abertas) e “baixa energia” (costas abrigadas) e, com base na classificação morfo-sedimentológica de Sazaki, 1980 (*apud* Carter, 1988), definiu basicamente oito tipos morfodinâmicos: dissipativo de alta energia, dissipativo de baixa energia, reflexivo de alta energia, reflexivo de baixa energia, intermediário, intermediário com tendências dissipativas, intermediário com tendências reflexivas e, ainda, o ultradissipativo (Figura 2).

3. Erosão Costeira e Praial

Os processos sedimentares (erosão, deposição e transporte) que ocorrem em uma praia são produto de fatores meteorológicos/climáticos, oceanográficos/hidrológicos, geológicos e antrópicos (Souza, 1997).



Figura 2. Tipos morfodinâmicos de praias existentes no Estado de São Paulo (fotos da autora e de sobrevôos do DEPRN-SMA). **A:** Praia de Peruíbe – Dissipativa de Alta Energia; **B:** Praia de Santos: Dissipativa de Baixa Energia; **C:** Praia de Itamambuca

(Ubatuba): Reflexiva de Alta Energia; **D**: Praia de Domingas Dias (Ubatuba) – Reflexiva de Baixa Energia; **E**: Praia de Maresias (São Sebastião) – Intermediária; **F**: Praia da Enseada (Guarujá) – Intermediária com tendências Dissipativas; **G**: Praia de São Pedro (Guarujá) - Intermediária com tendências Reflexivas; **H**: Praia da Enseada (São Sebastião-Caraguatatuba): Ultradissipativa (planície de maré).

Os fatores meteorológicos/climáticos têm maior influência nas variações do NM (de curto e longo períodos) e na atuação dos ventos, agindo no comportamento do clima de ondas e, conseqüentemente, interferindo nas características das correntes costeiras.

Os fatores oceanográficos /hidrológicos envolvem a ação de ondas e marés, e as correntes geradas por esses agentes. Dentre os diversos fatores geológicos atuantes no litoral, os de maior importância para as praias são os processos sedimentares que determinam o seu balanço sedimentar (Figura 3). Os fatores antrópicos compreendem as interferências do homem nos ecossistemas costeiros, modificando os fatores naturais.

O balanço sedimentar de uma praia é a relação entre as perdas/saídas e os ganhos/entradas de sedimentos nessa praia. Essas trocas podem ocorrer entre a praia e o continente (através dos rios e canais de maré, dunas e terraços marinhos adjacentes à praia), a plataforma continental (através de correntes costa-adentro e costa-afora e correntes de retorno) e a própria praia (através de correntes de deriva litorânea). O homem pode também tornar-se um agente direto dessas trocas, através da retirada/mineração de areia das praias e da realização de projetos de alimentação ou engordamento artificial de praias. Assim, quando o balanço sedimentar na praia for negativo, ou seja, quando a saída/perda de sedimentos é maior do que a entrada/ganho

de sedimentos, haverá um déficit sedimentar, predominando a erosão da praia, com diminuição paulatina de sua largura e a retração da linha de costa. Se o saldo for positivo, a praia tenderá a crescer em largura pela deposição predominante de sedimentos, e a linha de costa progradará. No balanço igual a zero haverá o equilíbrio do sistema praial.

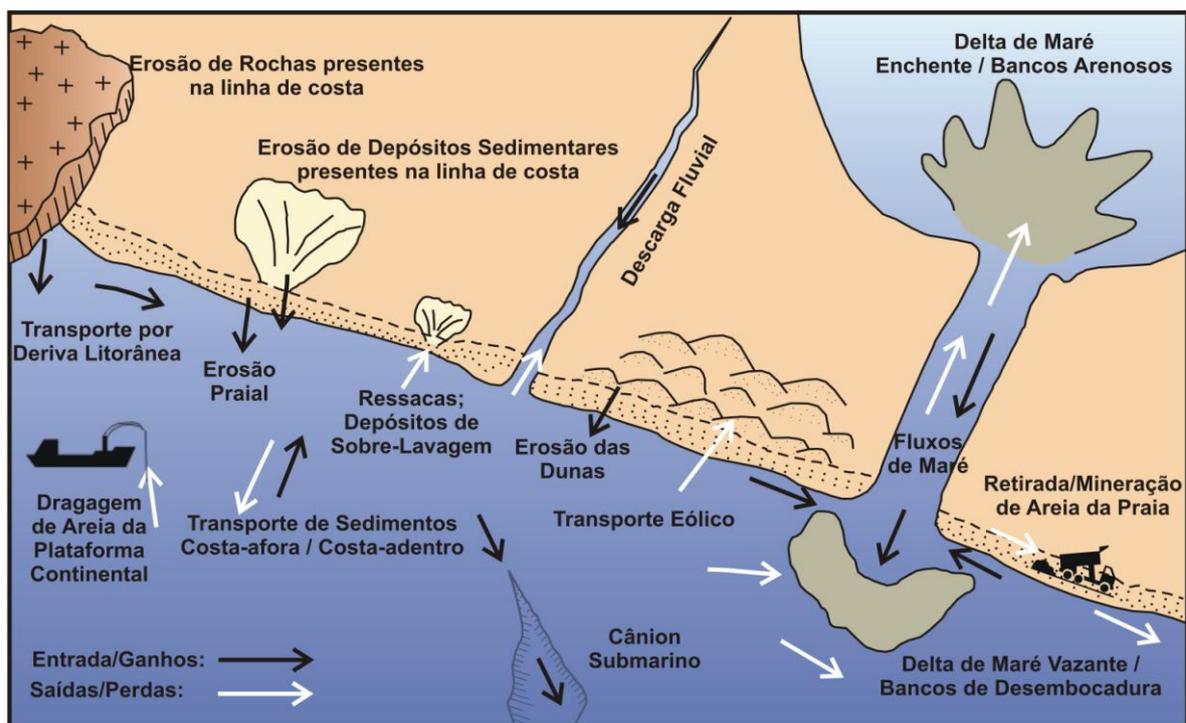


Figura 3 Balanço sedimentar de uma praia (modificado de NOAA, 2007).

A erosão em uma praia se torna problemática quando passa a ser um processo severo e permanente ao longo de toda essa praia ou em trechos dela, ameaçando áreas de interesse ecológico e sócio-econômico (Souza *et al.*, 2005). Nessas condições passa a ser denominada de **erosão costeira** (atinge promontórios, costões rochosos e falésias) ou **erosão praial** (quando se refere somente às praias). O fenômeno deve merecer a

atenção de cientistas e autoridades, pois a costa está sob **balanço sedimentar negativo** e, portanto, em **risco**.

Segundo Clark (1993) e Souza *et al.* (2005), as áreas com problemas de erosão costeira/praias são aquelas que apresentam pelo menos uma das seguintes características:

- a) altas taxas de erosão ou erosão significativa recente;
- b) taxas de erosão baixa ou moderada em praias com estreita faixa de areia e localizadas em áreas altamente urbanizadas;
- c) praias que necessitam ou que já possuam obras de proteção ou contenção de erosão;
- d) praias reconstruídas artificialmente e que seguem um cronograma de manutenção.

3.1. Causas e Conseqüências da Erosão Costeira

Embora a erosão costeira seja essencialmente produto de um balanço sedimentar negativo no sistema praias, essa situação é decorrente de diversos processos e fenômenos que podem ser atribuídos a fatores naturais e fatores antrópicos. Em geral, ambos interagem entre si o tempo todo no condicionamento da erosão costeira, sendo freqüentemente difícil identificar quais são aqueles mais ativos, ou mesmo individualizar a atuação de cada um. Uma síntese das causas naturais e antrópicas de erosão costeira no Brasil é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil (Souza *et al.*, 2005).

CAUSAS NATURAIS DA EROSÃO COSTEIRA			CAUSAS ANTRÓPICAS DA EROSÃO COSTEIRA		
1	Dinâmica de circulação costeira: presença de zonas de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea em determinados locais mais ou menos fixos da linha de costa (efeito “foco estável”).	7	Inversões na deriva litorânea resultante causada por fenômenos climáticos-meteorológicos intensos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e a atuação intensa do “ <i>El Nino/ENSO</i> ”.	14	Urbanização da orla , com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.
2	Morfodinâmica praial: praias intermediárias têm maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, reflexivas de baixa energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas.	8	Elevações do nível relativo do mar de curto período devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés astronômicas de sizígia e elevações sazonais do NM, resultando nos mesmos processos da elevação de NM de longo período.	15	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píers, quebramares, muros, etc., para “proteção costeira” ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais.
3	Aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.	9	Efeitos atuais da elevação do nível relativo do mar durante o último século, em taxas de até 30 cm: forte erosão com retrogradação da linha de costa.	16	Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.
4	Fisiografia Costeira: irregularidades na linha de costa (mudanças bruscas na orientação, promontórios rochosos e cabos inconsolidados) dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia.	10	Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período: Princípio ou Regra de Bruun e migração do perfil praial rumo ao continente.	17	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
5	Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos (<i>by-pass</i>), contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.	11	Evolução quaternária das planícies costeiras: balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época.	18	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias.
6	Armadilhas de sedimentos e migração lateral: desembocaduras fluviais ou canais de maré; efeito “molhe hidráulico”; depósitos de sobrelavagem; obstáculos fora da praia (barras arenosas, ilhas, parcéis, arenitos de praia e recifes).	12	Balanço sedimentar atual negativo originado por processos naturais individuais ou combinados.	19	Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais/ e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
		13	Fatores Tectônicos: subsidências e soerguimentos da planície costeira.	20	Balanço sedimentar atual negativo decorrente de intervenções antrópicas.

Algumas dessas causas aparecem citadas mais de uma vez porque geram processos e/ou efeitos específicos conforme a escala temporal e espacial abordada. Neste sentido, exemplificam-se as duas principais conseqüências da elevação do NM no perfil praiial, observadas nas figuras 4a e 4b. Note-se bem que, embora ambos os fenômenos tenham sido descritos para elevações do NM de longo período, eles também ocorrem durante elevações de curto período, como as ressacas (marés meteorológicas ou de tempestade).

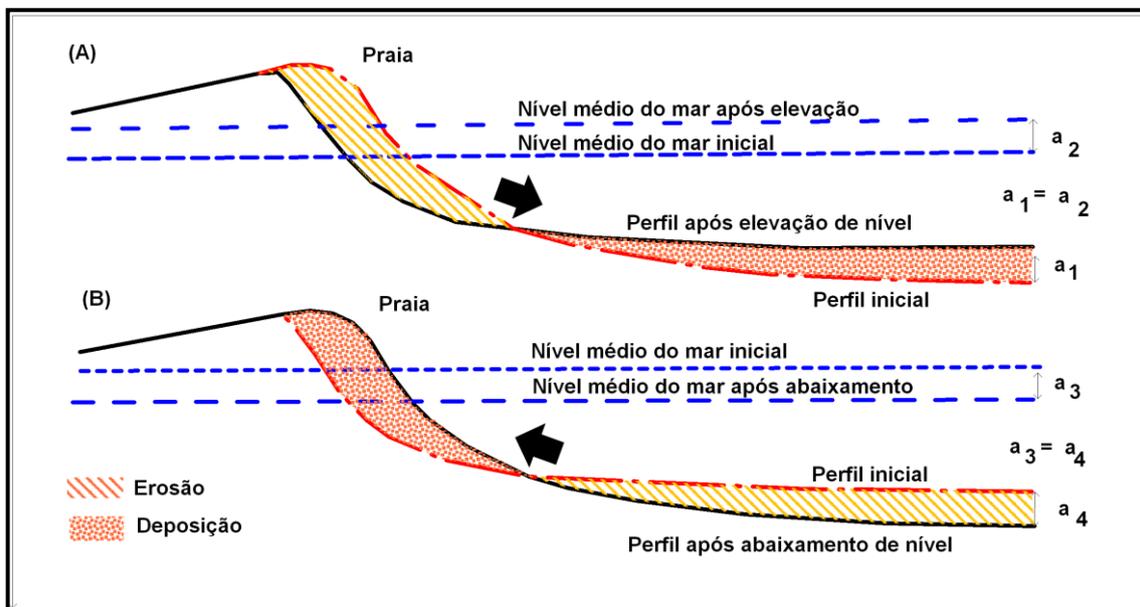


Figura 4a. Princípio ou Regra de Bruun: erosão dos sedimentos na porção emersa do perfil praiial e deposição dos mesmos no perfil submerso (nas mesmas proporções), como conseqüência da elevação do nível relativo do mar (modificado de Bruun, 1962).

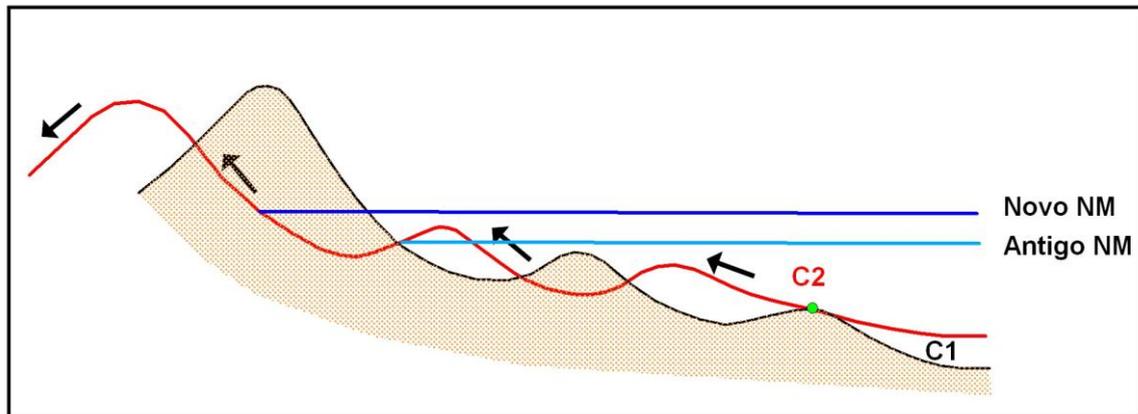


Figura 4b. Migração do perfil longitudinal da praia rumo ao continente, como consequência da elevação do nível relativo do mar (modificado de Davidson-Arnott, 2005). NM = nível relativo do mar; C = profundidade de fechamento da praia.

A erosão costeira ou praias pode trazer várias consequências não somente à praia, mas também a vários ambientes naturais e aos usos e atividades antrópicas na zona costeira, destacando-se:

- a) redução na largura da praia e retrogradação ou recuo da linha de costa (se a área adjacente da planície costeira não for urbanizada a tendência de longo período será de migração transversal do perfil praias rumo ao continente; se for urbanizada, pode não haver “espaço” físico para essa migração);
- b) desaparecimento da zona de pós-praia e, com o passar do tempo, da própria praia;
- c) perda e desequilíbrio de habitats naturais pela destruição de praias ou de alguma de suas zonas, dunas, manguezais, florestas de “restinga” que bordejam as praias e costões rochosos, com alto potencial de perda de

espécies que habitam esses ambientes (ex.: o crustáceo popularmente conhecido por “maria farinha” que habita a pós-praia);

- d) aumento na frequência e magnitude de inundações costeiras, que são inundações na planície costeira causadas por ressacas (marés meteorológicas) ou eventos de marés de sizígia muito elevados;
- e) aumento da intrusão salina no aquífero costeiro e nas drenagens superficiais da planície costeira;
- f) aumento da erosão na porção a jusante dos sistemas fluviais estuarinos e, conseqüentemente, erosão em planícies de maré e manguezais, com possível alteração da circulação estuarina;
- g) perda de propriedades e bens públicos e privados ao longo da linha de costa;
- h) destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa construídas pelo homem;
- i) problemas e até colapso de sistemas de esgotamento sanitário (obras soterradas e emissários submarinos);
- j) diminuição da balneabilidade das águas costeiras por incremento da poluição e contaminação de águas e sedimentos;
- k) perda de recursos pesqueiros;
- l) perda do valor paisagístico da praia e/ou da região costeira;
- m) perda do valor imobiliário de habitações costeiras;
- n) comprometimento do potencial turístico da região costeira;
- o) prejuízos nas atividades sócio-econômicas da região, ligadas ao turismo e ao lazer na praia.

Em geral, as conseqüências da erosão costeira ou praial são percebidas como problema quando ameaçam os usos e as atividades humanas de forma a causar prejuízos econômicos. Entretanto, como visto, mesmo quando ela ocorre em locais não habitados pelo homem, deve ser motivo de preocupação do poder público e de cientistas, porque terrenos naturais serão perdidos, podendo levar ao colapso de importantes ecossistemas costeiros que já foram comprometidos em áreas urbanizadas.

3.2. Indicadores de Monitoramento e Classificação de Risco à Erosão Costeira

Os processos erosivos deixam cicatrizes e assinaturas nas praias, que são denominados indicadores de erosão costeira.

No início da década de 1990 foram identificados, no litoral do Estado de São Paulo, onze indicadores de erosão costeira (Souza & Suguio, 1996; Souza, 1997), que desde então têm sido monitorados pela autora. As figuras 5 a 9 mostram exemplos desses indicadores e a Figura 10 os locais onde eles são observados e monitorados. Esses indicadores podem ser também observados em outras praias do Brasil e do mundo.

A partir da presença (número) desses indicadores e de sua distribuição espacial ao longo da linha de costa, Souza & Suguio (2003) elaboraram uma classificação matricial de risco à erosão costeira para as praias de São Paulo, que resultou em um Mapa de Risco à Erosão Costeira (SMA, 2002; Souza, 2007) (Figura 11).

Atualmente, 33,3% das praias paulistas encontram-se sob risco Muito Alto (*MA*), 20,7% em risco Alto (*A*), 25,3% sob risco Médio (*M*), 18,4% em risco Baixo (*B*) e apenas 2,3% (o que corresponde a 2 praias) estão sob risco Muito Baixo (*MB*) (Souza, 2007).

Em relação a cada um dos três setores costeiros paulistas, tem-se o seguinte panorama:

- Litoral Norte: $MA = 22,4\%$; $A = 24,3\%$; $M = 27,5\%$; $B = 22,4\%$; $MB = 3,4\%$
- Baixada Santista: $MA = 52,3\%$; $A = 13\%$; $M = 21,7\%$; $B = 13\%$; $MB = 0\%$
- Litoral Sul: $MA = 50\%$; $A = 12,5\%$; $M = 25\%$; $B = 12,5\%$; $MB = 0\%$

Esses dados mostram que mesmo em uma região com muito baixa taxa de ocupação e presença de várias unidades de conservação ambiental, como é o Litoral Sul, as taxas de riscos MA e A são muito elevadas (somam $62,5\%$). Isso ressalta a grande influência de causas naturais no desencadeamento do fenômeno. Na Região Metropolitana da Baixada Santista, por outro lado, que é a região mais ocupada do litoral paulista, essa taxa é bastante próxima, totalizando $65,3\%$ de praias sob riscos MA e A .



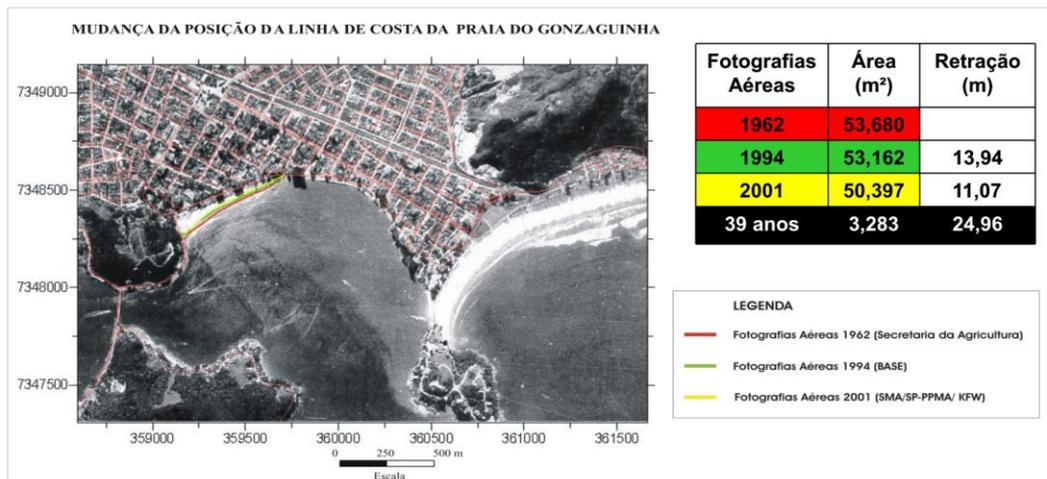
I: Pós-praia muito estreito ou inexistente devido à inundação pelas preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não).

Foto: Praia do Gonzaguinha - São Vicente (2007; preamar de sizígia).

II: Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não).



Praia do Gonzaguinha - 1910 (Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo).



Fotografia aérea de 1962. As linhas coloridas correspondem aos limites o perfil emerso da praia nos anos de 1962 (vermelha), 1994 (verde) e 2001 (amarela).

Nesse período, a taxa de retrogradação dessa praia foi de 0,64 m/ano (Souza & Barbosa, 2007). Se tudo continuar como está, este trecho da praia desaparecerá em 109 anos.

Figuras 5. Indicadores I e II de erosão costeira (fotos da autora).

III: Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias (praias urbanizadas ou não).

Foto: Praia do Itaguapé - Bertioga (porção central da praia - erosão do escrube).



IV: Intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos (pleistocênicos a atuais) que bordejam as praias, provocando o desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não).

Foto: Praia do Itaguapé (desembocadura do Rio Itaguapé) - Bertioga (2007)



Figuras 6. Indicadores III e IV de erosão costeira (fotos da autora).

V: Destruição de faixas frontais de vegetação de restinga ou de manguezal, presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia.

Foto: Praia da Juréia - Iguape (2001) - forte erosão e migração do perfil praial, com soterramento de Floresta Alta de Restinga.



VI: Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia, depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, ou embasamento sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais.

Foto: Praia da Tabatinga - Caraguatatuba (2001) - Exposição de terraços marinhos (provavelmente pleistocênicos) na pós-praia.



Figuras 7. Indicadores V e VI de erosão costeira (fotos da autora).

VII: Freqüente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica, formados por camadas sucessivas de aterros erodidos soterradas por camadas de areias praias/dunares (contato entre a praia e a área urbanizada).

Foto: Praia de Itanhaém - próximo à foz do Rio Itanhaém (2006) - intensa erosão provocando a destruição da camada de aterro sobreposta e sotoposta a depósitos praias/eólicos.



VIII: Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, as faces praial e litorânea e/ou a zona de surfe.

Foto: Praia do Guaraú - Peruíbe (2006). Destruição de casas construídas sobre a pós-praia.



Figuras 8. Indicadores VII e VIII de erosão costeira (fotos da autora).



IX: Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6 m, (praias urbanizadas ou não).

Foto: Plataformas de abrasão marinha no Morro do Maluf - Guarujá (2008) - nota-se a retomada do nível superior, provavelmente correlato ao NM de 4 m acima do atual, que ocorreu durante o Holoceno (~ 5.100 anos A.P.)

X: Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outras evidências erosivas (praias urbanizadas ou não).

Foto: Praia da Ilha Comprida (porção central, 2003). Notar a concentração de minerais pesados no trecho mais erosivo da praia e as falésias atrás.



XI: Desenvolvimento de embaixamentos formados pela presença de correntes de retorno concentradas e de zona de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea localizados em local(s) mais ou menos fixo(s) da linha de costa.

Foto: Praia de Maresias - São Sebastião (2007). Os embaixamentos provocados pela dinâmica de circulação costeira causaram forte erosão nesses locais após atuação de uma ressaca.

Figuras 9. Indicadores IX, X e XI de erosão costeira (fotos da autora).

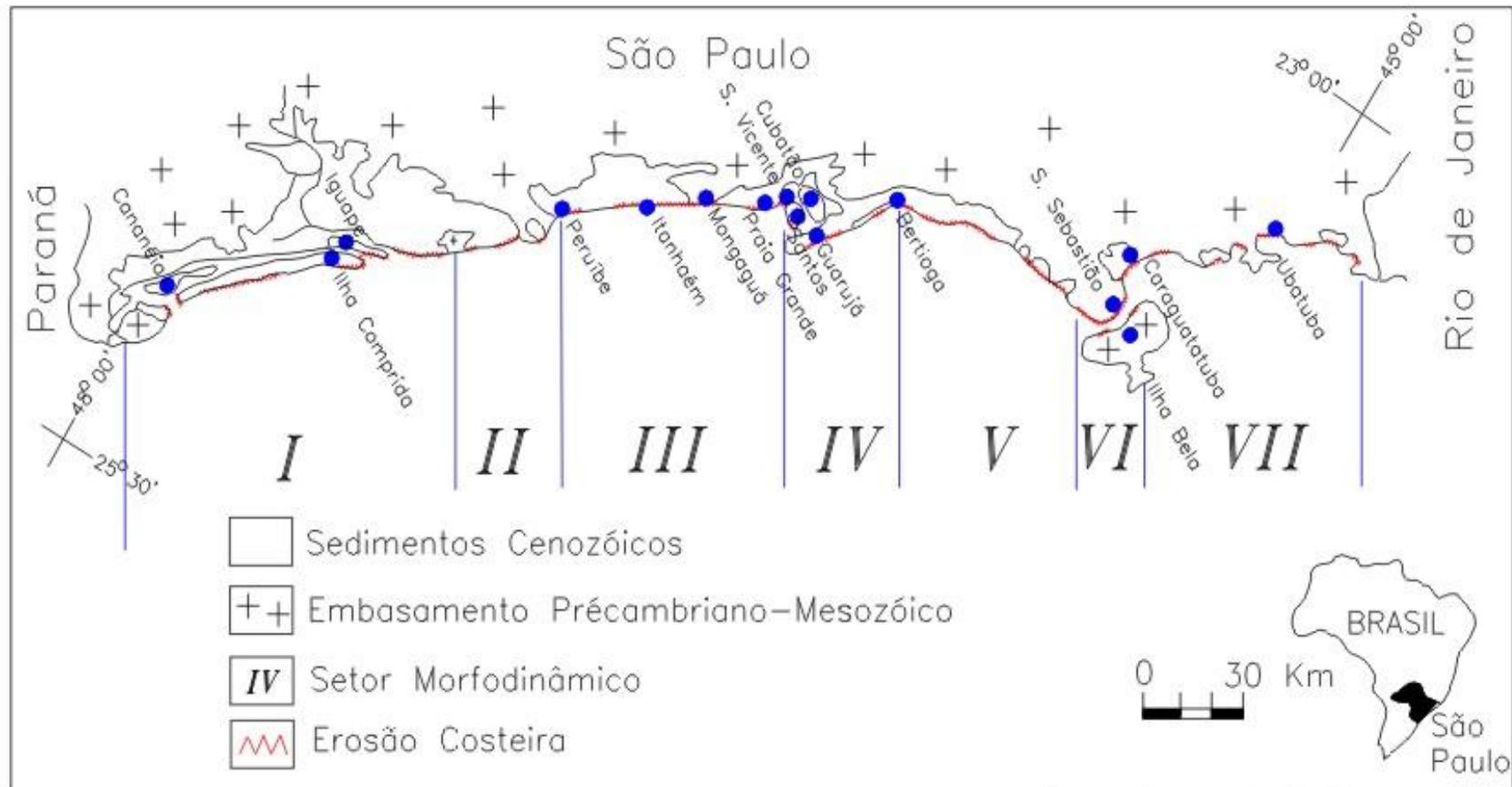


Figura 10. Principais locais de observação e monitoramento dos indicadores de erosão costeira em São Paulo (Souza & Suguio, 1996).

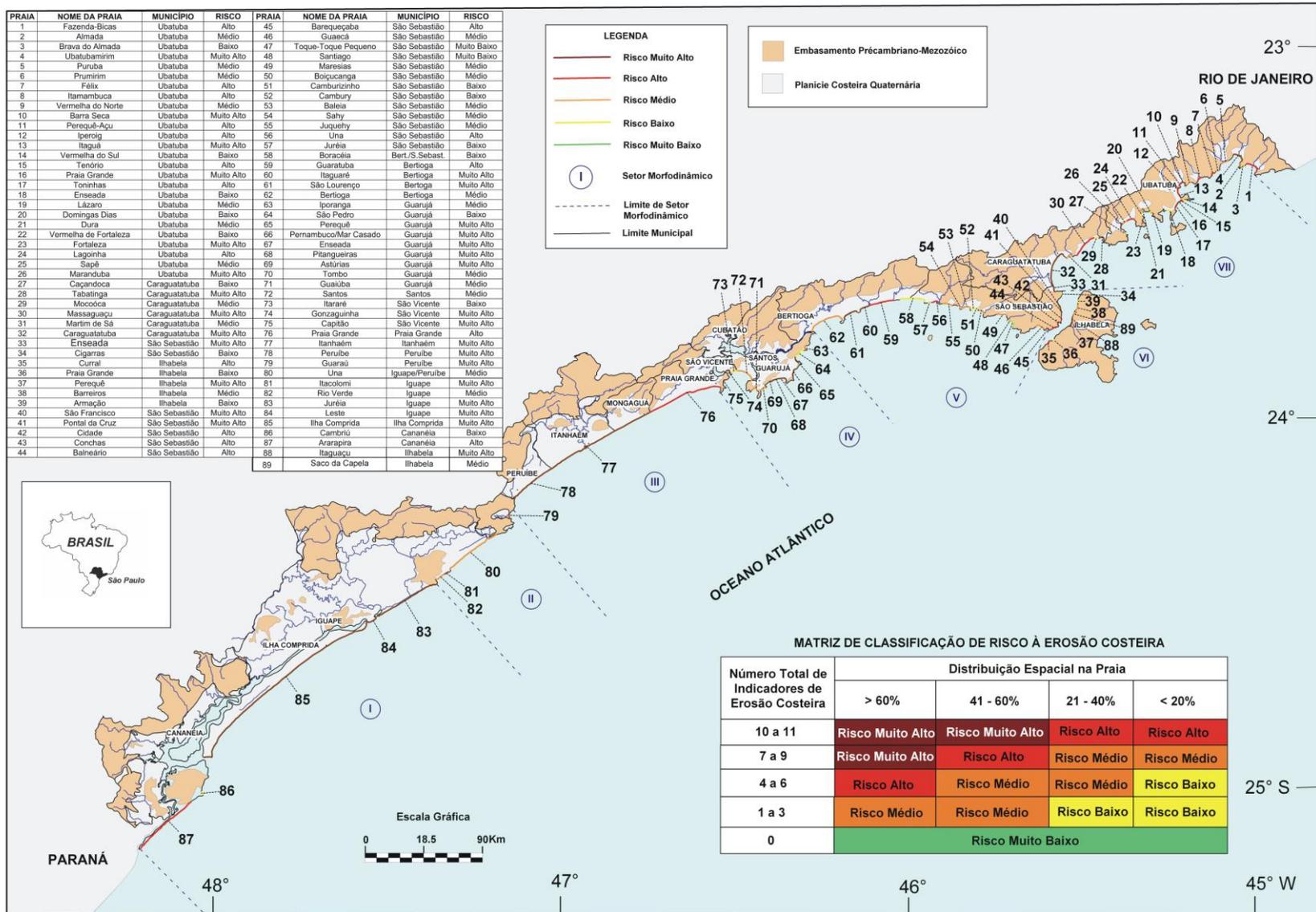


Figura 11. Mapa de Risco à Erosão Costeira para o Estado de São Paulo (Souza, 2007)

Outro fato alarmante é que, comparando os resultados da primeira avaliação de risco feita para São Paulo, em 2001 (SMA, 2001; Souza & Suguio, 2003), com os de sua atualização, em 2007 (Souza, 2007), conclui-se que em seis anos: 25 praias aumentaram o grau de risco, sendo 11 em Ubatuba, 3 em Caraguatatuba, 2 em São Sebastião, 7 no Guarujá, 1 em Praia Grande e 1 em Iguape; as praias do Una, em Iguape, e da Enseada, em Ubatuba, diminuíram seu grau de risco. As causas para o aumento do grau de risco nos municípios do Litoral Norte foram, principalmente, o aumento da urbanização em praias até então pouco ocupadas. Causas naturais não podem ser descartadas, a exemplo do aumento anômalo de ocorrência de ressacas anuais, como em 2006, quando pelo menos seis fortes eventos atingiram a Baixada Santista e o Litoral Norte, entre os meses de julho e dezembro. Normalmente, as ressacas atingem o litoral paulista no período entre o final de abril e agosto, e são decorrentes da interação entre a atuação de frentes frias e ciclones extratropicais, maré de sizígia e NM mais elevado devido a efeitos esteéricos (maior aquecimento das águas do Atlântico Sul durante o verão) (Souza, 2008).

4. O que Fazer?

A resposta a essa pergunta não é muito fácil, visto que o cenário que se vislumbra é no mínimo preocupante. Soluções para a mitigação dos problemas erosivos, recuperação de praias, adaptação à situação e planejamento são recomendadas.

Em relação às situações de Risco apontadas anteriormente, recomenda-se:

- a) Praias sob Riscos Muito Alto e Alto - são praias particularmente vulneráveis, que estão sob forte ameaça, requerendo ações imediatas para reverter o quadro de degradação. Essas ações envolvem medidas como:

realocação ou remoção de estruturas urbanas e/ou obras de engenharia, recuperação das praias de preferência através de alimentação artificial (é necessário identificar fontes sustentáveis desses sedimentos), recuperação de dunas frontais, e eliminação ou minimização das causas antrópicas da erosão costeira, pelo menos.

- b) Praias sob Risco Médio - são praias que requerem atenção, pois poderão rapidamente tornar-se de risco Alto ou Muito Alto. É necessário impedir a piora do seu estado, através de medidas que atuem na eliminação ou minimização das causas antrópicas de erosão, pelo menos, e mitigação dos impactos devidos às causas naturais.
- c) Praias sob Riscos Baixo e Muito Baixo - são praias comparativamente mais seguras em relação a esse perigo, devendo-se conservar os seus estados e minimizar possíveis causas de erosão, principalmente evitando novas intervenções antrópicas, além de estabelecer ações efetivas de gerenciamento costeiro.

Uma medida importante, para todas as situações descritas, seria a criação de instrumentos legais que promovessem a maior conservação do ambiente praias, principalmente no que se refere a certos tipos de usos e atividades antrópicas nas praias, entre elas: construção de obras de engenharia costeira, retirada de areia de praias e dunas, desassoreamento de desembocaduras fluviais e lagunares, instalação de quiosques e outras estruturas urbanas públicas ou obras particulares sobre as praias, e indicação de áreas para atividades náuticas (marinas, rotas de *jet-sky* e “*banana-boat*”).

No tocante à planície costeira, seria necessário estabelecer metas e ações para um planejamento territorial adequado, que fossem incorporadas pelas políticas públicas

existentes e seus instrumentos, como o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (através do Zoneamento Ecológico-Econômico) e os Planos Diretores Municipais. Neste sentido, deveriam ser observados os processos costeiros, os mecanismos naturais e as intervenções antrópicas responsáveis pela erosão nas praias, os possíveis impactos da elevação do NM na região, e o controle da ocupação de novas áreas na planície costeira e encostas da Serra do Mar (no caso de São Paulo).

Uma solução para a preservação das praias e a minimização da erosão costeira e dos efeitos sócio-econômicos da elevação do NM, já adotada por muitos países, é a criação de zonas de amortecimento ou proteção (*setback distance*) (ZP) entre a praia e os primeiros equipamentos urbanos.

No caso do litoral paulista, propõe-se que a ZP seja uma faixa de terreno da planície costeira, paralela e contígua à praia, com determinada largura mínima medida a partir do limite superior da praia (este limite poderá se dar com a planície costeira propriamente dita ou com algum tipo de estrutura construída pelo homem), no sentido do continente. Essa largura mínima poderia ser única ou variável em função da classificação de risco à erosão da praia (progressivamente maior quanto maior o seu grau de risco), ou da projeção da taxa de recuo da linha de costa para os próximos anos ou décadas (e.g. Souza, 2008).

Assim, como a função da ZP é de proteger as praias e as áreas urbanas contra a erosão costeira e os avanços progressivos do NM, ela deveria:

- (a) ser mantida livre de qualquer ocupação antrópica;
- (b) ter restaurada as condições de permeabilidade original do terreno, com a recuperação da duna frontal anteriormente existente e de sua vegetação

original ou, não havendo esta possibilidade, ser efetuado o plantio de espécies nativas de Escrube ou de Vegetação de Dunas.

Agradecimentos

Agradecemos à Geógrafa Graciele da Costa Luna, pela confecção de algumas das figuras apresentadas neste texto.

Referências Bibliográficas

BIRD, E.C.F. 1999. Beach Management. John Wiley & Sons Inc., New York. 292p.

BRUUN, P. 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. Journal of Waterways and Harbor Division, 88: 117-130.

BRUUN, P. & SCHWARTZ, M. L. 1985. Analytical predictions of beach profile change in response to a sea level rise. Zeitschrift für Gemorphologie N.F., Supplement-Band, 57: 33-50.

CARTER, R.W.G. 1988. Coastal Environments. An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press. 617p.

CLARK, R.R. 1993. Beach conditions in Florida: a statewide inventory and identification of the beach erosion problem areas in Florida. Florida Department of Environmental Protection. Beaches and Shores Technical and Design Memorandum, 89-1 (5th ed.), 202 p.

DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. 2005. Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. Journal of Coastal Research, 21 (6), p. 1166-1172.

- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/005.htm).
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2007. Climate Changes: The Physical Science Basis. Summary of Policymakers. (<http://www.ipcc.ch>).
- MASSELINK, G. & SHORT, A.D. 1993. The effect of the tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9 (3): 785-800.
- NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 2007. Coasts – Sedimentary Budget (<http://www.noaa.gov/coasts.html>).
- ROHLING, E.J.; GRANT, K.; HEMLEBEN, C.H.; SIDDALL, M.; HOOGAKKER, B.A.A.; BOLSHAW, M. & KUCERA, M. 2007. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience* (published online in 16 December 2007), doi:10.1038/ngeo.2007.28.
- SHORT, A.D. 1991. Macro-mesotidal beach morphodynamics – an overview. *Journal of Coastal Research*, 7: 417-436.
- SHORT, A.D. 1999. Beaches. In: A.D. Short (ed). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley and Sons. p. 3-20.
- SMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2002. *Informações Básicas para o Planejamento Ambiental*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental, São Paulo. 84p.
- SOUZA, C.R. de G. 1997. *As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo*. São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências,

Universidade de São Paulo, São Paulo. Volume I – Texto (184 p.) e Volume II – Anexos (174 p.).

SOUZA, C.R. de G. 2001. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and causes of coastal erosion along the State of São coast, Brazil. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28 (2): 459-475.

SOUZA, C.R. de G. 2007. Atualização do Mapa de Risco à Erosão Costeira para o Estado de São Paulo. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, Belém, PA, 4 a 11 de novembro de 2007. Anais..., CD-ROM.

SOUZA, C.R. de G. 2008. Erosão na Praia do Gonzaguinha-Milionários (São Vicente, SP): Causas e Projeções. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO) e II Encontro Latino-americano de Geomorfologia, Belo Horizonte (MG), 01-08/agosto/2008. CD-ROM.

SOUZA, C.R. de G. & SUGUIO, K. 1996. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68: 405-424.

SOUZA, C.R. de G. & SUGUIO, K. 2003. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for Coastal Management. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 35, p. 530-547.

SOUZA, C.R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, S.L.; VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza *et al.* (eds.). *Quaternário do Brasil. Holos*, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152.