

Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo)

Shoreline recession rates and sedimentary budget in beaches under very high risk of erosion in Ubatuba County (São Paulo Northern Coast)

Celia Regina de Gouveia Souza^{a,c}
Graciele da Costa Luna^{b,d}

^aInstituto Geológico - SMA/SP, Programa de Pós-Graduação do Depto de Geografia Física da FFLCH-USP, ^bGeojá Mapas Digitais Ltda, ^ccelia@igeologico.sp.gov.br, ^dgraciele.geo@gmail.com

RESUMO

Cerca de 22% das praias arenosas do município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo) encontram-se em risco muito alto de erosão. As causas do fenômeno são diversas, incluindo fatores naturais, como a elevação atual do nível do mar e mudanças na dinâmica costeira, e fatores antrópicos associados a diversas intervenções ao longo da linha de costa e nas planícies costeiras. Um dos onze indicadores de erosão costeira monitorados nas praias paulistas é a retrogradação da linha de costa nas últimas décadas. Este trabalho apresenta os resultados dos estudos realizados em quatro praias de Ubatuba que estão sob risco muito alto de erosão costeira - Maranduba, Praia Grande, Barra Seca e Ubatumirim/Estaleiro, visando ao cálculo das taxas de retrogradação das mesmas em fotografias aéreas de 1962, 1973 e 2001. Para o mapeamento dos polígonos praias foram adotados os limites: superior – linha de vegetação permanente na planície costeira ou estruturas construídas pelo homem, e inferior – linha de água mais alta. Os cálculos das taxas de variação da linha de costa e do déficit sedimentar foram efetuados através dos métodos *End Point Rate (EPR)* e médias das *EPRs (AEPRs)*. Como esperado, os resultados mostraram que as praias analisadas apresentaram tendências erosivas nas últimas quatro décadas. A maior erosão foi observada na Praia Grande, que teve um recuo de 1,9 m/ano, seguida pelas praias de Barra Seca, com 0,78 m/ano, Estaleiro, 0,36 m/ano, Ubatumirim, 0,25 m/ano, e Maranduba, 0,17 m/ano.

Palavras-chave: Taxa de recuo praias; Balanço sedimentar; Praias arenosas; Fotografias aéreas; Ubatuba.

ABSTRACT

About 22% of Ubatuba County (Northern Coast of São Paulo State) sandy beaches are under very high risk of erosion. The causes for this phenomenon include natural processes, such as sea-level rise and changes in the coastal dynamics, as well as several anthropogenic interventions along the shoreline and coastal plains. Shoreline recession in the last few decades is one among eleven indicators of coastal erosion that are monitored in the State of São Paulo beaches. This paper presents the historical shoreline recession rates in four beaches under very high risk of erosion located in Ubatuba County – Maranduba, Praia Grande, Barra Seca and Ubatumirim/Estaleiro beaches. Studies were carried out at aerial photographs from 1962, 1973 and 2001. For mapping the beach polygons the shoreline boundaries adopted were the following: superior limit – the permanent vegetation line on the coastal plain or manmade structures; and inferior limit – the high water line. End Point Rate and Average End Point methods were applied in order to calculate recession rates and sedimentary deficit in the time interval analyzed. As expected, the studied beaches presented erosional trends in the last four decades. The stronger retrogradation belongs to Praia Grande beach, which recession rate is about 1.9 m/y. It is followed by Barra Seca beach, with 0.78 m/y, Estaleiro beach, with 0.36 m/y, Ubatumirim beach, with 0.25 m/y, and Maranduba beach, with 0.17 m/y.

Keywords: Beach recession rate; Sedimentary budget; Sandy beaches; Aerial photographs; Ubatuba County.

1. Introdução

Com o aumento da ocupação das áreas costeiras e o quadro atual de mudanças climáticas e elevação do nível relativo do mar (NM), estudos sobre mudanças da posição da linha de costa nas últimas décadas têm se tornado ferramentas essenciais para a gestão da orla marítima e da zona costeira.

A interpretação de séries históricas de fotografias aéreas e mapas antigos, como uma técnica para medir variações da linha de costa, começou no final da

década de 1960 (Anders & Byrnes 1991). Desde então, inúmeros trabalhos têm discutido os métodos, os erros envolvidos e as aplicações dessa técnica, visando ao estudo de processos erosivos e ao cálculo da taxa de retrogradação da linha de costa (e.g. Anders & Byrnes 1991, Crowell *et al.* 1991, Dolan *et al.* 1991, Camfield & Morang 1996, Moore 2000, Fenster *et al.* 2001, Honeycutt *et al.* 2001, Byrnes *et al.* 2003, Boak & Turner 2005, Esteves *et al.* 2009).

No Brasil, estudos desse tipo ganharam expressão somente a partir da década de 1990 (Souza *et al.*

2005). Inicialmente, limitavam-se a averiguar mudanças da linha de costa em desembocaduras fluviais e lagunares. Na década de 2000, com o advento de técnicas de geoprocessamento mais apuradas e o aprimoramento da localização espacial por satélite, os trabalhos começaram a tratar das variações da linha de costa de longo período em todo o segmento praial (e.g. Dias 2005). São excelentes fontes de referência sobre todos esses trabalhos os anais dos congressos da Associação Brasileira de Estudo do Quaternário (ABEQUA), a partir de 1997, além de Souza *et al.* (2005) e Muehe (2006).

No estado de São Paulo, a evolução dos trabalhos sobre o tema se deu da mesma maneira.

O primeiro trabalho a utilizar métodos de cálculo da taxa de retrogradação da linha costa e a incorporar técnicas de geoprocessamento foi realizado na praia do Gonzaguinha, no município de São Vicente (Souza &

Barbosa 2007, Souza 2008, 2009a). Estudos semelhantes, ainda inéditos, também foram realizados recentemente em duas praias do município de Caraguatatuba.

A erosão nas praias paulistas tem sido atribuída a uma gama de causas naturais e antrópicas, sendo as mais importantes: a elevação no NM, a dinâmica costeira e as diversas intervenções antrópicas na linha de costa e nas planícies costeiras, que resultam em modificações no balanço sedimentar costeiro (Souza & Suguio 1996, 2003, Souza 1997, 2001, 2009a) (tabela 1).

As séries históricas de registros maregráficos para o estado de São Paulo indicam que no último século a elevação do NM foi da ordem de 30-40 cm (Mesquita 2003), portanto maior do que a média mundial, que foi de 18 cm (IPCC 2007).

Tabela 1: Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil

Causas naturais			Causas antrópicas		
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 causadas por fenômenos climático-meteorológicos intensos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e atuação intensa do “El Niño/ENSO”.	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, piers, quebramares, muros, anteparos em pedra, 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, provocadas pela 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 NM de longo período: 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 (by-pass), contribuindo para a não-permanência dos sedimentos em certos segmentos da 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, parciais, 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.

Fonte: Souza *et al.* 2005, Souza 2009a,b

Com base nesses dados, [Souza \(2001\)](#) efetuou cálculos de taxa de retrogradação da linha de costa devida somente à elevação do NM (baseados na Regra de Bruun – [Bruun 1988](#)) em seis praias do estado de São Paulo que apresentam forte erosão, cada qual representativa de um setor morfodinâmico diferente ([Souza & Suguio 1996](#)). Os resultados obtidos para o período 1938-1994 mostraram que: no litoral norte, a praia de Caraguatatuba (setor morfodinâmico VII) apresentou taxa média máxima de retrogradação de 3,22m/ano; no litoral sul, a praia da Juréia (setor morfodinâmico I) apresentou taxa média de 2,44m/ano; e, na região da Baixada Santista, a praia do Gonzaguinha (setor morfodinâmico IV) apresentou taxa média de 2m/ano. Entretanto, pela aplicação dos métodos de retroanálise de fotografias aéreas (1962, 1994 e 2001), na praia do Gonzaguinha, a taxa média de retrogradação foi 0,64m/ano ([Souza & Barbosa 2007, Souza 2008](#)).

A dinâmica de circulação de células de deriva litorânea, modificada por causas naturais ou por intervenções antrópicas na linha de costa, se mostrou uma importante causa de erosão de curto até longo período de tempo, em várias praias paulistas ([Souza 1997](#)).

Da mesma forma, a ocupação inadequada da orla e da planície costeira, e a implantação de estruturas rígidas na linha de costa, resultando em modificações no sistema de drenagem e no balanço sedimentar costeiro, também resultam em erosão praial, de médio a longo período.

Outra intervenção antrópica que afeta o balanço sedimentar das praias é a retirada de areia. Em São Paulo, essa prática era muito comum em várias praias urbanas, até o início da década de 1990. Os motivos eram principalmente a limpeza pública, a desobstrução de vias e de equipamentos urbanos instalados na pós-praia, e a utilização de areia na pavimentação de ruas e no aterro de lixões localizados sobre manguezais. Desde meados daquela década, entretanto, essa atividade tem sido combatida por ações estaduais severas, por parte do Ministério Público e da Secretaria do Meio Ambiente. Note-se que os impactos dessa atividade são, em geral, difíceis de monitorar e mitigar

e, em alguns casos, até mesmo de serem identificados em curto período de tempo.

A retrogradação da linha de costa nas últimas décadas é um dos onze indicadores de erosão costeira monitorados nas praias do estado de São Paulo, desde 1992 (tabela 2). Esses indicadores e sua distribuição espacial ao longo das praias foram a base para a determinação de uma classificação de risco à erosão costeira estabelecida para todas as praias paulistas, urbanizadas ou não ([Souza & Suguio 2003, Souza 2007a](#)). Assim, por seu caráter dinâmico, essa classificação passou a ser instrumento de monitoramento e reavaliação periódica.

O presente trabalho apresenta os resultados de estudos realizados em quatro praias sob risco muito alto de erosão, localizadas no município de Ubatuba (extremo norte do litoral paulista), a partir de fotografias aéreas obtidas nos anos de 1962, 1973 e 2001, visando calcular as taxas de variação da linha de costa (polígono praial) e o balanço sedimentar das praias, e identificar as principais causas da erosão.

2. Materiais e Métodos

As melhores fontes de dados disponíveis para se estudar as variações da linha de costa ao longo do tempo, através de uma série histórica, são: mapas (mapas históricos e principalmente cartas topográficas e náuticas), fotografias aéreas, imagens de satélite de alta resolução e perfis de monitoramento praial. Obviamente, cada um deles tem suas próprias características, implicando vantagens e desvantagens, além de diferentes escalas espaciais e temporais e, consequentemente, vários tipos de erros envolvidos.

No caso específico dos produtos de sensores remotos, utilizam-se como indicadores de limite do polígono praial duas referências: o limite superior é definido pela presença de vegetação permanente ou uma estrutura rígida fixa construída pelo homem (ex. muros, muretas); e o limite inferior corresponde à linha de água mais alta atingida pela maré (*high water line* – [Dolan et al. 1980](#)), que pode ser observada na fotografia aérea por diferenças de tonalidade, como sendo o contato entre a areia seca e a areia úmida.

Tabela 2: Indicadores de erosão costeira monitorados nas praias do estado de São Paulo

I	Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação pelas preamars de sizígia (praias urbanizadas ou não).
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).
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).
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).
V	Destruição de faixas frontais de vegetação de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, causada pela erosão acentuada ou o soterramento da vegetação devido à retrogradação/migração da linha de costa sobre o continente.
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, devido à remoção das areias praiais por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não).
VII	Frequente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura métrica de camadas sucessivas de aterro erodido e soterrado por camadas de areias praiais/eólicas (praias urbanizadas).
VIII	Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, as faces praial e litorânea, a zona de surfe/arrebentação e/ou ao largo.
IX	Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6m, formadas sobre rochas do embasamento

X	Ígneo-metamórfico pré-cambriano a mesozóico, em épocas em que o nível do mar encontrava-se acima do atual, durante o Holoceno e o final do Pleistoceno (praias urbanizadas ou não).
XI	Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outros indicadores erosivos (praias urbanizadas ou não).
	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(is) mais ou menos fixo(s) da praia.

Fonte: Souza 1997, 2009a, Souza & Suguio 2003

Para mapeamentos da linha de costa, a escala de 1:20.000 ou próxima é considerada a menor escala utilizável, sendo os erros envolvidos em geral de até 2m (Moore 2000).

Para calcular a taxa de variação da linha de costa (polígono praial) a partir de fotografias aéreas e mapas, os métodos computacionais mais utilizados são: (a) ponto de terminação ou *end-point rate* (EPR), através do qual é medida a distância horizontal entre duas posições de linha de costa no tempo, preferencialmente ao longo de vários trechos da praia e envolvendo apenas dois períodos de tempo (é o método *proxy* mais utilizado nos Estados Unidos); (b) média das EPRs ou *average of EPRs* (AEPR), através da qual diferentes EPRs são calculadas para vários períodos, sendo a taxa final a média aritmética do conjunto de valores obtidos; (c) regressão linear ponderada (*weighted linear regression*), método estatístico no qual a melhor medida é dada pela soma dos quadrados das diferenças (mínimos quadrados) entre as várias posições da linha de costa obtidas no tempo e medidas em vários trechos da praia; (d) média dos mínimos quadrados (*least mean squares*) (Dolan et al. 1991, Honeycutt et al. 2001, Esteves et al. 2009).

Vários autores têm discutido tanto as questões ligadas à utilização dos diversos materiais/fontes de dados, como também testado os diferentes métodos de aplicação, demonstrando que a eficiência de cada um depende da área estudada e dos erros inerentes a cada material – erros de medição e erros dos métodos estatísticos empregados (e.g. Anders & Byrnes 1991, Crowell et al. 1991, Dolan et al. 1991, Camfield & Morang 1996, Moore 2000, Fenster et al. 2001, Honeycutt et al. 2001, Byrnes et al. 2003, Boak & Turner 2005, Esteves et al. 2009).

Na área de estudo foram aplicados os métodos de EPR e AEPR em três conjuntos de fotografias aéreas: 1962 - escala 1:25.000, obtida em junho (Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo); 1973 - escala 1:25.000, obtida em junho (Instituto Brasileiro do Café, Projeto GERCA); e 2001 - ortofotos digitais georreferenciadas, escala 1:35.000 (em papel), ampliável até 1:15.000, obtidas em junho (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – Projeto de Preservação da Mata Atlântica – PPMA/KFW).

A escolha desses sobrevoos se deve aos seguintes fatos: os três sobrevoos foram realizados no mesmo mês do ano (junho) e, aparentemente, sob as mesmas condições de contorno, ou seja, em fase de baixamar de quadratura (horário entre 9h30 e 11h); não ocorreram fenômenos meteorológicos anômalos nos dias que antecederam esses sobrevoos; os sobrevoos de 1962 e 2001 são, respectivamente, o mais antigo e o mais recente disponíveis para todo o litoral paulista.

As fotografias aéreas de 1962 e 1973 foram digitalizadas em Scanner A3, com resolução de 400 dpi, e transformadas em arquivos *raster* (não-georreferenciados). Posteriormente, foram georreferenciadas com auxílio do aplicativo de geoprocessamento *MapInfo*, versão 9.0, tendo como base pontos de controle (PC) obtidos nas ortofotos de 2001, tais como: cruzamentos de ruas e avenidas, grandes equipamentos lineares como oleoduto e redes de alta tensão, pontes e, eventualmente, anomalias no relevo (centróide de topo de morros isolados). A área de estudo não favorece a abundância de PCs em meio urbano, já que a urbanização na maioria dessas praias é bastante recente. Assim, embora somente sete PCs tenham sido selecionados em cada fotografia, considera-se que foram suficientes para um bom georreferenciamento, uma vez que os erros máximos calculados foram da ordem de 3%.

Na etapa seguinte, efetuou-se a edição topológica do objeto de estudo, ou seja, a delimitação dos polígonos de contorno de cada praia, para cada ano amostrado. Ao final, e por motivos óbvios, a representação espacial de toda a série histórica foi feita sobre as ortofotos de 2001, sendo os erros calculados pelo *software* da ordem de 1%. O polígono praial de 1962 foi adotado como *datum* para os cálculos apresentados no trabalho.

Assim, foram obtidas as áreas de cada praia para cada ano e calculadas as variações de área sofridas nos intervalos de tempo ou períodos de referência de 1962-1973, 1973-2001 e 1962-2001.

Em cada polígono de praia foram então traçados transectos de controle, perpendiculares à linha de costa e aproximadamente equidistantes entre si. A locação desses transectos foi feita, sempre que possível, seguindo as localizações dos perfis de monitoramento praial realizados nessas praias. Entretanto, para preservar a acuidade do método, foi necessária a alocação de outros transectos de controle em trechos da praia não-perfilados, visando manter a equidistância entre os pontos de amostragem.

Ainda fazendo uso de ferramentas de geoprocessamento, foram medidas as larguras da praia em cada transecto, para cada ano, e obtidos a média aritmética e o desvio-padrão correspondentes. A partir dos valores de desvio-padrão, estabeleceu-se o Índice de Variabilidade da Praia, que indica quais as tendências dessa praia ao longo do tempo e fornece interpretações quanto às causas do fenômeno (processos naturais e/ou intervenções antrópicas). Assim, em função dos valores de desvio-padrão (σ), foi estabelecida a seguinte classificação: $\sigma=0-10$: variabilidade muito baixa; $\sigma=11-20$: variabilidade

baixa; $\sigma=21-30$: variabilidade média; $\sigma=31-40$: variabilidade alta; $\sigma > 40$: variabilidade muito alta.

O *EPR* corresponde à diferença entre os valores de largura de cada transecto por período de referência (1962-1973, 1973-2001 e 1962-2001), e a *AEPR* é a média aritmética de cada *EPR* calculada para o conjunto de todos os anos (1962/1973/2001). Foram também calculadas as médias totais de variação de largura para cada praia (conjunto de todos os *EPRs*), bem como a média total das *AEPRs*.

Para obter o balanço sedimentar dessas praias, inicialmente foi calculado o volume de areia correspondente em cada ano de amostragem. Para tanto, multiplicou-se o valor da área da praia pela altura média da praia (perfil emerso), obtida a partir dos monitoramentos praias realizados entre 1992 e 2003 (tabela 3). Posteriormente, foram calculados as diferenças de volumes em cada período de referência e o volume total de sedimentos evadidos ou acumulados no intervalo total de 39 anos.

A taxa média de retrogradação (recuo) ou de progradação da linha de costa (polígono praias) foi obtida a partir da divisão entre a média das *AEPRs* e o intervalo de tempo total de análise (39 anos).

Dados de largura da praia obtidos nas campanhas de monitoramento praias não podem ser utilizados, em seus valores absolutos, para o estabelecimento de comparações com os resultados obtidos para este trabalho. Isto porque a “largura praias” incorpora conceitos diferentes para cada caso. Neste trabalho, o limite inferior da praia é marcado pela linha seca, que corresponde, aproximadamente, à linha mais elevada atingida pela última preamar (em geral a noturna, já que todos os sobrevoos foram realizados pela manhã), sendo, portanto, o limite superior do estirâncio. Nas perfilagens praias, o limite inferior do perfil praias emerso medido corresponde à linha de água, ou seja, ao limite inferior do estirâncio no momento da perfilagem. Essas diferenças podem gerar erros de até dezenas de metros nas praias estudadas, as quais estão sujeitas a regime de micromarés com maré semidiurna, e amplitude de até 1,0m em condições de tempo bom.

3. Praias Estudadas

O Litoral Norte de São Paulo abrange os municípios de São Sebastião, Ilhabela, Caraguatatuba e Ubatuba (figura 1).

Neste setor costeiro, a situação das praias em relação ao grau de risco à erosão é preocupante, sendo assim distribuída: risco muito alto = 22,4%; risco alto = 24,3%; risco médio = 27,5%; risco baixo = 22,4%; risco muito baixo = 3,4%.

Para a realização do presente estudo foram selecionadas quatro praias arenosas que se encontram em risco muito alto de erosão, consideradas as piores da região em relação ao fenômeno, a saber: praia de Maranduba (incluindo parte da praia do Sapê), Praia Grande, praia da Barra Seca e praia de Ubatumirim/Estaleiro (figura 1).

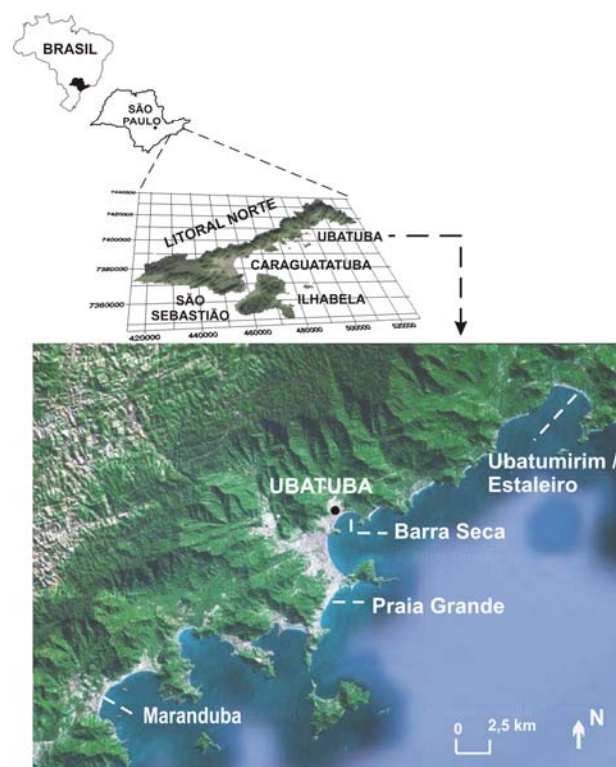


Figura 1: Litoral norte de São Paulo e localização das praias estudadas.

As principais características morfodinâmicas dessas praias estão apresentadas na tabela 3.

Todas elas são mais ou menos abrigadas-ocupando o fundo de pequenas baías (praias embaçadas - *headland bay beaches*) e enseadas (Praia Grande). Em geral, são compostas por areias finas e bem selecionadas e apresentam perfis planos e de baixa declividade, exceto a praia da Barra Seca (Souza 1997).

O processo erosivo nessas praias é intenso, ora se estendendo por toda ela, ora se mostrando maior em vários trechos (tabelas 4 a 7). Entre os indicadores de erosão monitorados, predominam os de número I, II, III e VIII.

Na praia da Barra Seca, todo o arco praias se encontra em erosão acelerada. Em Ubatumirim/Estaleiro, o trecho mais erosivo encontra-se no segmento entre o rio Iriri e a extremidade SE – praia do Estaleiro. Na Praia Grande, a erosão é mais intensa no segmento central; e na praia de Maranduba a erosão é menos aparente somente nas proximidades da praia do Sapê (extremo NE da praia), devido à existência de um tombolo.

A ocupação humana dessas planícies costeiras se deu de maneira heterogênea e diferenciada, conforme se constata no histórico do município de Ubatuba, resumido no trabalho de Denadai et al. (2009).

Ubatuba ficou relativamente isolada até 1952, quando da construção da rodovia SP-125 ligando o município à cidade de Taubaté, no Vale do Paraíba. Mas foi após 1976, quando a rodovia Rio-Santos ou BR-101 foi finalizada, que se inicia um interesse imobiliário e turístico na região.

Tabela 3: Principais características morfo dinâmicas das praias estudadas

Praia (perfilagens 1992, 1993, 2003)	Estado Morfo dinâmico	Orientação	Comprimento médio (km)	Largura média (m)	Inclinação média no estrâncio (graus)	Altura média (m)	Características Granulométricas	Feições Sedimentares Predominantes
Maranduba/ Sapê	DBen a In	NE	3	34,00	3,77	2,24	AF, MS	Barras longitudinais suaves, perfil plano
Praia Grande	In a DAen	NNE	1,8	54,50	2,00	1,90	AF-AM, BS	Barras longitudinais suaves, perfil plano
Barra Seca	RBen	EW	0,5	5,20	9,10	0,82	AF, BS	Berma Barras longitudinais suaves, cúspides,
Ubatumirim/ Estaleiro	DBen a In	NW	3,7	35,53	2,00	1,24	AMF-AF, BS-MS	terraço de maré baixa, perfil plano

Legenda:

DAen = Dissipativa de alta energia
DBen = Dissipativa de baixa energia
RBen = Reflexiva de baixa energia
In = Intermediária

AMF = Areias muito finas
AF = Areias finas
AM = Areias médias
BS = Bem selecionadas
MS = Moderadamente selecionadas

Fonte: Souza 1997, 2005

A implantação da BR-101 também trouxe impactos relacionados a fortes modificações na rede de drenagem, como o desvio de alguns rios que desembocavam nas praias, o represamento de cursos d'água a montante da rodovia, causando o reafeiçoamento local da rede de drenagem, o assoreamento de canais e o afogamento de algumas áreas deprimidas (Souza & Alfredine 2000).

Esses impactos, por sua vez, tiveram como consequência a instalação ou aceleração de processos erosivos em algumas praias, a exemplo de Ubatumirim/Estaleiro (Souza *et al.* 2000) e da Barra Seca, bem como mudanças em ecossistemas costeiros, como o afogamento de florestas e o desenvolvimento de matas paludosas ao longo do eixo da rodovia, como ocorre em vários trechos do Litoral Norte.

Um marco recente de expansão urbana ocorreu a partir de meados da década de 1990, quando se inicia uma explosão de especulação imobiliária no município. Esse fato é decorrente da saturação do mercado imobiliário da Baixada Santista e da “descoberta” dos muitos atrativos cênicos de Ubatuba, que incluem grande variedade de belas praias, cachoeiras e paisagens exuberantes, destacadas pela conservação da Mata Atlântica.

Os impactos socioeconômicos decorrentes dessa nova aptidão econômica são responsáveis também pela erosão acelerada em algumas de suas praias. A erosão recente observada na Praia Grande e em parte de Maranduba, por exemplo, tem como causas principais a construção da BR-101 muito próxima da praia e a implantação de equipamentos urbanos públicos (avenida beira-mar, calçada, estacionamento) e privados (quiosques de alvenaria) sobre a pós-praia.

Como dito anteriormente, outras causas importantes da erosão costeira nas praias em estudo são a elevação do NM e a dinâmica de circulação costeira.

4. Resultados e Discussão

As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram os resultados da variação da linha de costa (polígonos praias) nos anos

de 1962, 1973 e 2001, obtidos para as praias em estudo.

De maneira geral, observa-se que em todas as praias analisadas ocorreu retrogradação nos últimos 39 anos, como uma tendência gradual desde 1962. Entretanto, um pequeno aumento de área do arco da praia de Maranduba foi verificado no período 1962-1973.

As variações em área apresentadas na tabela 8 ressaltam essa característica, demonstrando perdas (em área), em relação ao intervalo total de 39 anos (1962 a 2001), que variam entre 26,6% (-70.320m²) em Ubatumirim/Estaleiro, 43,5% (-29.960m²) em Maranduba, 72,6% (-43.051m²) em Barra Seca, até 85,4% (-201.020m²) na Praia Grande.

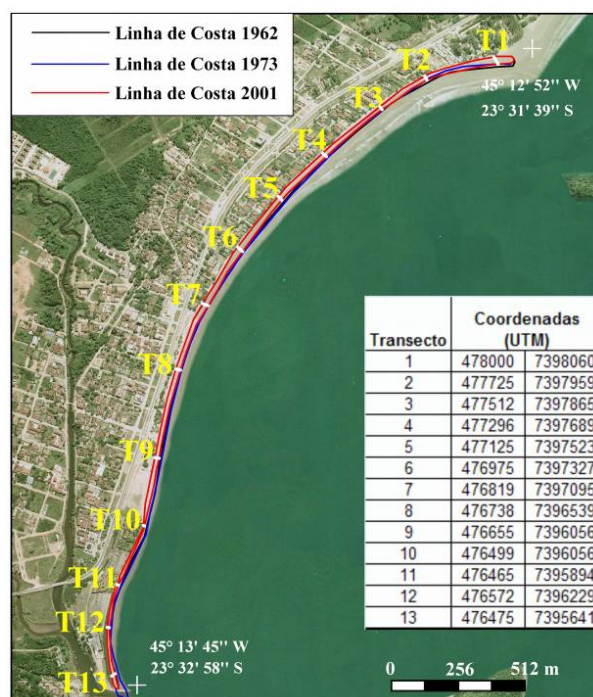


Figura 2: Variação da linha de costa (polígono praias) na praia de Maranduba para os anos de 1962, 1973 e 2001. As terminações superiores da praia nos polígonos preto e azul coincidem com a terminação superior no polígono vermelho, por isso estão encobertas por este último.



Figura 3: Variação da linha de costa (polígono praia) na Praia Grande para os anos de 1962, 1973 e 2001. A terminação superior da praia no polígono preto é coincidente com a terminação superior no polígono azul, por isso está encoberta por este último.



Figura 4: Variação da linha de costa (polígono praia) na praia da Barra Seca para os anos de 1962, 1973 e 2001. As terminações superiores da praia nos polígonos preto e azul coincidem com a terminação superior no polígono vermelho, por isso estão encobertas por este último. No canto NW da praia da Barra Seca desemboca o Rio Grande, que separa esta praia da praia do Perequê-Açu.

Comparando os períodos de referência de 1962-1973 e 1973-2001, verifica-se que no segundo período as perdas foram superiores às do primeiro, em nove vezes, em Maranduba e Praia Grande; três vezes na praia de Ubatumirim/Estaleiro; e duas vezes na praia da Barra Seca.

Consequentemente, após esses 39 anos, o balanço sedimentar de todas essas praias apresenta-se negativo, envolvendo perdas totais de volume de areia da ordem de: 35.302m³ na praia da Barra Seca, 67.111m³ em Maranduba, 87.197m³ em Ubatumirim/ Estaleiro e 382.000m³ na Praia Grande (tabela 9).

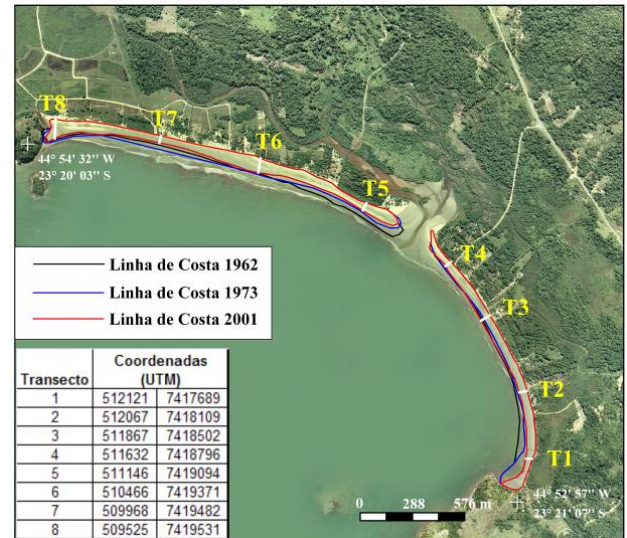


Figura 5: Variação da linha de costa (polígono praia) na praia de Ubatumirim/Estaleiro para os anos de 1962, 1973 e 2001. As terminações superiores da praia nos polígonos preto e azul coincidem com a terminação superior do polígono vermelho, por isso estão encobertas por este último.

A seguir são apresentados os resultados detalhados obtidos para cada praia.

Praia de Maranduba

Contrariando o esperado para uma praia de estado morfodinâmico dissipativo de baixa energia (com tendências a intermediário em condições de tempo instável), a praia de Maranduba sempre apresentou larguras pequenas, da ordem de poucas dezenas de metros (tabela 10 e figura 6). Em 1962, as larguras variavam entre 13,05m (T12) e 39,35m (T1). Em 1973, a maioria dos valores aumentou de alguns metros, oscilando entre 15,38m (T12) e 34,22m (T5). Já, em 2001, nota-se forte redução nas larguras, que passaram a variar de apenas 4,1m (T10) a 17,8m (T3).

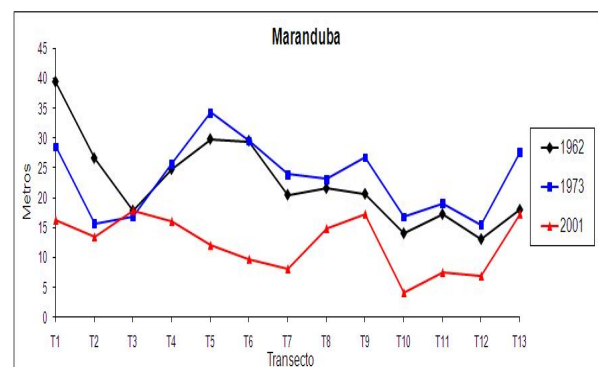


Figura 6: Variação da linha de costa (polígono praia) na praia de Maranduba.

Tabela 4: Indicadores de erosão costeira monitorados nos perfis da praia de Maranduba e transectos correspondentes⁽¹⁾

Praia	ID-Perfil Praial	Data da Amostragem	Longi- tude (UTM)	Latitu- de (UTM)	Indicadores de erosão costeira (ver tabela 1)											Transecto Correspondente
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Maranduba	183	16/7/1992	476572	7396229	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X	T12
Maranduba	184	16/7/1992	476819	7397095	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	T7
Maranduba	505	26/1/1993	476819	7397095	X	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	T7
Maranduba	506	26/1/1993	476572	7396229	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X	T12
Maranduba	702	27/7/2001	476475	7395641	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	X	T13
Maranduba	703	27/7/2001	476572	7396229	X	X	X	-	-	-	X	X	-	-	X	T12
Maranduba	704	27/7/2001	476819	7397095	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	T7
Maranduba/ Sapê	185	16/7/1992	478000	7398060	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	T1
Maranduba/ Sapê	504	26/1/1993	478000	7398060	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	T1
Maranduba/ Sapê	705	27/7/2001	478000	7398060	X	X	X	-	-	-	-	X	-	X	-	T1
Maranduba/ Sapê	706	27/7/2001	477725	7397959	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	T2

Fonte: Souza (1997, 2005); ⁽¹⁾ Efetuados para este trabalho.Tabela 5: Indicadores de erosão costeira monitorados nos perfis da Praia Grande e transectos correspondentes⁽¹⁾

Praia	ID-Perfil Praial	Data da amostra- gem	Longi- tude (UTM)	Latitu- de (UTM)	Indicadores de erosão costeira (ver tabela 1)											Transecto Correspondente
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Praia Grande	195	17/7/1992	493187	7404173	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	T4
Praia Grande	196	17/7/1992	493747	7404818	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	T1
Praia Grande	493	26/1/1993	493747	7404818	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	T1
Praia Grande	494	26/1/1993	493187	7404173	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	T4
Praia Grande	765	28/7/2003	493747	7404818	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	T1
Praia Grande	766	28/7/2003	493346	7404404	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	X	T3
Praia Grande	767	28/7/2003	493187	7404173	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	T4
Praia Grande	768	28/7/2003	492819	7403548	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T6

Fonte: Souza (1997, 2005); ⁽¹⁾ Efetuados para este trabalho.Tabela 6: Indicadores de erosão costeira monitorados nos perfis da praia da Barra Seca e transectos correspondentes⁽¹⁾

Praia	ID-Perfil Praial	Data da Amostragem	Longi- tude (UTM)	Latitude (UTM)	Indicadores de erosão costeira (ver tabela 1)											Transecto Correspondente
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Barra Seca	179	15/7/1992	495074	7410270	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	X	T2
Barra Seca	487	25/1/1993	495074	7410270	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	X	T2
Barra Seca	752	27/7/2003	495295	7410125	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-	T1
Barra Seca	753	27/7/2003	495074	7410270	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	T2
Barra Seca	754	27/7/2003	494781	7410348	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-	T4

Fonte: Souza (1997, 2005); ⁽¹⁾ Efetuados para este trabalho.Tabela 7: Indicadores de erosão costeira monitorados nos perfis da praia de Ubatumirim/Estaleiro e transectos correspondentes⁽¹⁾

Praia	ID-Perfil Praial	Data da Amostragem	Longi- tude (UTM)	Latitu- de (UTM)	Indicadores de erosão costeira (ver tabela 1)											Transecto Correspondente
					I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Estaleiro	205	17/7/1992	512121	7417689	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X	X	T1
Estaleiro	206	17/7/1992	511632	7418796	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	-	T4
Estaleiro	477	25/1/1993	512121	7417689	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X	-	T1
Estaleiro	478	25/1/1993	511632	7418796	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	X	T4
Estaleiro	781	28/7/2003	511632	7418796	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	T4
Estaleiro	782	28/7/2003	511867	7418502	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	T3
Estaleiro	783	28/7/2003	512067	7418109	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	-	T2
Estaleiro	784	28/7/2003	512121	7417689	X	X	X	-	X	-	-	X	-	-	-	T1

Ubatumirim	211	18/7/1992	510466	7419371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T6
Ubatumirim	212	18/7/1992	509525	7419531	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	T8
Ubatumirim	479	25/1/1993	510466	7419371	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T6
Ubatumirim	480	25/1/1993	509525	7419531	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	T8
Ubatumirim	777	28/7/2003	509525	7419531	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	T8
Ubatumirim	778	28/7/2003	509968	7419482	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	T7
Ubatumirim	779	28/7/2003	510466	7419371	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	T6
Ubatumirim	780	28/7/2003	511146	7419094	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	T5

Fonte: [Souza \(1997, 2005\)](#); ⁽¹⁾ Efetuados para este trabalho.

Tabela 8: Áreas do arco praial em cada ano de amostragem e suas taxas de variação nas praias estudadas, entre 1962 e 2001, em valores absolutos e porcentagens relativas

Praia	Área do arco praial (m²)			Taxas de variação da área do arco praial (m²)					
	1962	1973	2001	ΔA 1962-1973		ΔA 1973-2001		ΔA 1962-2001	
				m²	%	m²	%	m²	%
Maranduba	68.890,85	72.530,30	38.930,56	3.639,45	(+) 5,28	-33.599,74	(-) 46,33	-29.960,29	(-) 43,49
Praia Grande	235.408,91	212.258,35	34.389,04	-23.150,56	(-) 9,83	-177.869,31	(-) 83,80	-201.019,87	(-) 85,39
Barra Seca	59.288,09	44.132,57	16.237,41	-15.155,52	(-) 25,56	-27.895,16	(-) 63,21	-43.050,68	(-) 72,61
Ubatumirim/ Estaleiro	264.011,17	245.594,15	193.691,21	-18.417,02	(-) 6,98	-51.902,94	(-) 21,13	-70.319,96	(-) 26,64

Nota: Os sinais negativos significam que houve decréscimo relativo da área (erosão) com o tempo. Os valores positivos indicam acréscimo.

Tabela 9: Variação do volume de sedimentos contidos nas praias estudadas em cada ano de amostragem e balanço sedimentar (perdas totais de sedimentos) entre 1962 e 2001

Praia	Volume de areia na praia (m³)			Perda Total de Areias (m³) entre 1962 e 2001
	1962	1977	2001	
Maranduba	154.315,50	162.467,87	87.204,45	-67.111,05
Praia Grande	447.276,93	403.290,87	65.339,18	-381.937,75
Barra Seca	48.616,23	36.188,71	13.314,68	-35.301,56
Ubatumirim/Estaleiro	327.373,85	304.536,75	240.177,10	-87.196,75

Tabela 10: Largura da praia nos transectos da praia de Maranduba, médias e desvio-padrão das larguras e índice de variabilidade da praia

Transecto	Largura da praia (m) - praia de Maranduba			Média	Desvio-Padrão	Variabilidade
	1962	1973	2001			
T1	39,35	28,52	16,2	28,02	24,25	Média
T2	26,59	15,64	13,4	18,54	7,06	Muito Baixa
T3	17,83	16,76	17,8	17,46	0,61	Muito Baixa
T4	24,73	25,62	16	22,12	5,32	Muito Baixa
T5	29,76	34,22	12	25,33	11,75	Baixa
T6	29,48	29,48	9,7	22,89	11,42	Baixa
T7	20,46	23,82	8,1	17,46	8,28	Muito Baixa
T8	21,55	23,02	14,8	19,79	4,38	Muito Baixa
T9	20,62	26,66	17,2	21,49	4,79	Muito Baixa
T10	14,03	16,68	4,1	11,60	6,63	Muito Baixa
T11	17,23	18,98	7,5	14,57	6,19	Muito Baixa
T12	13,05	15,38	6,9	11,78	4,38	Muito Baixa
T13	17,95	27,54	17,2	20,90	5,77	Muito Baixa

Embora haja uma franca tendência erosiva quando se comparam os dados de 1962 e 2001, nesta praia parece ter ocorrido um fenômeno não observado nas demais, que é o ligeiro aumento na largura geral da praia no ano de 1973, exceto nos transectos T1, T2 e T3 (praia do Sapê/Maranduba), onde ocorreu erosão gradual ao longo dos 39 anos.

Os *EPRs* negativos obtidos para os transectos T1 a T3 e os positivos para T4 a T13, no período 1962-1973, também evidenciam essas tendências (tabela 11). Para os outros dois períodos analisados, os *EPRs* foram sempre negativos (à exceção de T3 em 1973-2001), demonstrando a tendência erosiva da praia.

Essas interpretações ficam ainda mais claras quando se observam as médias de todos os *EPRs*, que variaram

entre 0,75m no período 1962-1973, -10,88m entre 1973 e 2001, e -10,13m entre 1962 e 2001.

As tendências erosivas da praia ao longo do tempo são também evidenciadas pelos valores sempre negativos das *AEPRs* em cada transecto, com mínimo de -0,02m (T3) e máximo de -15,43m (T1)

Os índices de variabilidade são sempre muito baixos, demonstrando que as tendências de cada transecto não oscilaram muito com o tempo (ver curvas sintônicas na figura 6), exceto em 2001, quando a área entre os transectos T4 a T8 sofreu erosão acelerada.

Tabela 11: Linha de costa (polígono praial) na praia de Maranduba: variações da largura da praia nos transectos (*EPRs*) obtidas para os períodos de 1962-1973, 1973-2001 e 1962-2001 e taxas médias (*AEPRs*) de variação dos *EPRs* para o período completo

Transecto	Taxas de variação da linha de costa (m) - praia de Maranduba			
	<i>EPR</i> 1962-1973	<i>EPR</i> 1973-2001	<i>EPR</i> 1962-2001	<i>AEPR</i> 1962/1973/2001
T1	-10,83	-12,32	-23,15	-15,43
T2	-10,95	-2,24	-13,19	-8,79
T3	-1,07	1,04	-0,03	-0,02
T4	0,89	-9,62	-8,73	-5,82
T5	4,46	-22,22	-17,76	-11,84
T6	0	-19,78	-19,78	-13,19
T7	3,36	-15,72	-12,36	-8,24
T8	1,47	-8,22	-6,75	-4,50
T9	6,04	-9,46	-3,42	-2,28
T10	2,65	-12,58	-9,93	-6,62
T11	1,75	-11,48	-9,73	-6,49
T12	2,33	-8,48	-6,15	-4,10
T13	9,59	-10,34	-0,75	-0,50
Médias	0,75	-10,88	-10,13	-6,76

Nota: Os sinais negativos indicam erosão ou retrogradação e os positivos acresção ou progradação da linha de costa.

Tal anomalia pode estar associada a uma intensa ocupação da linha de costa nesse trecho da praia, com a construção de casas e equipamentos urbanos sobre a pós-praia (figura 7).



Figura 7: Urbanização sobre a pós-praia na praia de Maranduba (Celia R. de G. Souza, 27/11/2006).

Por outro lado, a implantação do enrocamento na margem esquerda do rio Maranduba (T13), no final da década de 1990, pode ter contribuído para a inexpressiva redução de largura (-0,75m), de T13 no período 1962- 2001, graças à retenção de areias na lateral do espigão. Souza (1997) identificou a ocorrência de uma zona de sotamar de uma pequena célula de deriva litorânea no local, cuja zona de barlamar estria em T11.

Não obstante, causas naturais de erosão costeira, como a elevação do NM e as oscilações na dinâmica costeira, também podem ser interpretadas a partir desses resultados.

Variabilidades muito baixas, comportamento sintônico das curvas de variação da largura (transectos T1 a T3 e T8 a T13) e variações espaciais em áreas e volumes de sedimentos e *AEPRs* sempre negativas são tendências associadas à elevação do NM; valores máximos e mínimos de largura praial migrando de transecto para transecto ao longo do tempo podem ser interpretados como variações na dinâmica de

circulação costeira (células de deriva litorânea; Souza 1997).

A média de todas as *AEPRs* é de -6,76m, o que corresponde a uma taxa de erosão ou retrogradação média da praia de Maranduba da ordem de 0,17m/ano, para o período de 39 anos.

Praia Grande

Entre 1962 e 1973, a Praia Grande apresentava amplas faixas de praia, com larguras sempre de centenas de metros (figura 8 e tabela 12). Em 1962, as larguras variavam de 125m (T3) a 143,51m (T1); em 1973, de quase 115m (T5) até cerca de 134m (T3). Entretanto, em 2001, percebe-se uma queda abrupta nos valores, que não ultrapassaram os 35,4m (T6), sendo o menor valor de apenas 11,2m (T2).

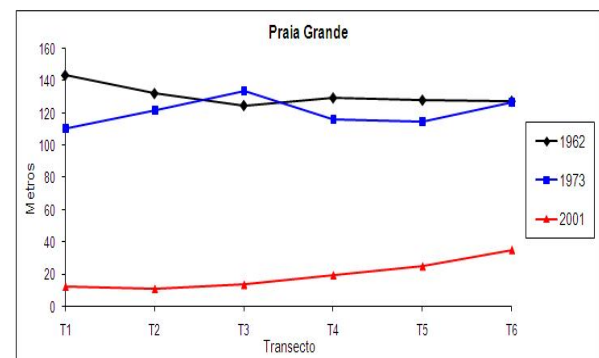


Figura 8: Variação da linha de costa (polígono praial) na Praia Grande.

Os valores muito altos de desvio-padrão e as curvas assintóticas do gráfico de variação de largura indicam grande variabilidade dessa praia para todos os anos.

Os resultados de *EPR* (tabela 13) também são alarmantes: no período 1962-1973, as taxas de retrogradação variaram de -0,77m (T6) a -33,29m (T1), com média de -10,47m; entre 1973 e 2001, verifica-se um salto nas reduções de largura, que variaram de -89,59m (T5) até -120,13m (T3), com média de -100,93m; entre 1962 e 2001, a erosão geral da praia é

sentida nos valores de recuo de -92,2m (T6) até -130,87m (T1), com média de -111,40m.

Esses resultados permitem estabelecer algumas conclusões:

- A praia sempre apresentou tendências erosivas ao longo dos anos. Estas são confirmadas também pelos altos valores, sempre negativos, das *AEPRs* em cada transecto, com mínimo de -61,47m (T6) e máximo de -87,25m (T1).
- O fenômeno erosivo constatado para o período 1962-1973, portanto anterior à finalização da construção da BR-101 e à urbanização da praia, pode estar associado à elevação do NM e/ou à insuficiência de aporte sedimentar (não há rios importantes desembocando nessa praia ou na praia vizinha contígua, a praia das Toninhas).
- A praia sofreu forte intervenção no período 1973-2001, capaz de reduzir sua largura média, de centenas para poucas dezenas de metros. Essa intervenção foi a supressão de grande parte da pós-praia, principalmente no trecho central da praia, com a instalação de equipamentos urbanos públicos e privados (figura 9).

A praia apresenta dinâmica costeira intensa (estado morfodinâmico intermediário), evidenciada pela alta variabilidade dos perfis (curvas assintóticas) ao longo

do tempo, embora os seus extremos T1 e T6 tendam a conservar certa homogeneidade (T1 é a porção mais larga e T6 a mais estreita da praia).



Figura 9: Urbanização sobre a pós-praia na Praia Grande (Celia R. de G Souza, 28/07/2003).

A média total das *AEPRs* é de -74,24m, o que corresponderia a uma taxa de erosão ou retrogradação média da Praia Grande da ordem de 1,90m/ano, para o período de 39 anos.

Tabela 12: Largura da praia nos transectos da Praia Grande, médias e desvio-padrão das larguras e índice de variabilidade da praia

Transecto	Largura da praia (m) - praia de Grande			Média	Desvio-Padrão	Variabilidade
	1962	1973	2001			
T1	143,51	110,22	12,64	88,79	68,02	Muito Alta
T2	132,31	121,67	11,19	88,39	67,07	Muito Alta
T3	124,97	133,92	13,79	90,89	66,92	Muito Alta
T4	129,63	116,02	19,65	88,43	59,96	Muito Alta
T5	128,23	114,75	25,16	89,38	56,02	Muito Alta
T6	127,57	126,8	35,37	96,58	53,01	Muito Alta

Tabela 13: Linha de costa (polígono praial) na Praia Grande: variações da largura da praia nos transectos (*EPRs*) obtidas para os períodos de 1962-1973, 1973-2001 e 1962-2001 e taxas médias (*AEPRs*) de variação dos *EPRs* para o período completo

Transecto	Taxas de variação da linha de costa (m) - Praia Grande			
	<i>EPR</i> 1962-1973	<i>EPR</i> 1973-2001	<i>EPR</i> 1962-2001	<i>AEPR</i> 1962/1973/2001
T1	-33,29	-97,58	-130,87	-87,25
T2	-10,64	-110,48	-121,12	-80,75
T3	8,95	-120,13	-111,18	-74,12
T4	-13,61	-96,37	-109,98	-73,32
T5	-13,48	-89,59	-103,07	-68,71
T6	-0,77	-91,43	-92,2	-61,47
Médias	-10,47	-100,93	-111,40	-74,27

Nota: Os sinais negativos indicam erosão ou retrogradação, e os positivos acréscimo ou progradação da linha de costa.

Praia da Barra Seca

Barra Seca pode ser considerada a praia mais erosiva de todo o Litoral Norte paulista.

O local próximo ao transecto T3 já não fica mais emerso durante as preamares de sizígia, e todo o restante da praia praticamente já desapareceu (figura 10). Apenas o trecho próximo ao Rio Grande (transecto T4) ainda conserva uma estreita faixa de praia (figura 11).

Como esperado para seu estado morfodinâmico, a praia da Barra Seca sempre apresentou pequenas larguras (figura 12 e tabela 14). Em 1962, as larguras variavam de 22,19m (T4) a 75,51m (T2); em 1973, as tendências em T4 e T2 se conservaram (embora mais estreitas do que em 1962), apresentando respectivamente a menor (21,76m) e a maior (55,64m) largura; em 2001, por outro lado, observa-se forte redução nos valores, com largura mínima de apenas 5,5m (T1) e máxima de 16,25m (T4).



Figura 10: Erosão acelerada na porção centro-sul da praia da Barra Seca, próxima ao transecto T2. Na pequena falésia ocorrem depósitos continentais (de encosta) capeando depósitos pelíticos de origem paleolagunar-estuarina (planície de maré) holocênicos (Celia R. de G. Souza, 27/07/2003).



Figura 11: Extremo-oeste da praia da Barra Seca, próximo à desembocadura do Rio Grande (transecto T4); observar o pequeno manguezal à retaguarda e a diminuição brusca de largura da praia, próximo à desembocadura (Celia R. de G. Souza, 27/07/2003).

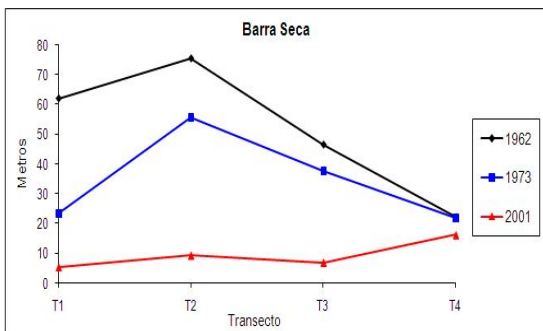


Figura 12: Variação da linha de costa (polígono praial) na praia da Barra Seca.

Os valores de *EPRs* (tabela 15) mostram que: no período 1962-1973 houve redução geral da largura da praia, que variou de -0,43m (T4) a -38,7m (T1); entre 1973 e 2001, os recuos aumentam, ficando entre -5,51m (T4) e -46,2m (T2); entre 1962 e 2001, as reduções na largura da praia mostram variações de -5,94m (T4) a -66,07m (T2).

É fácil notar então que: T1 passou por um forte processo de redução em sua largura, principalmente no período 1962-1973; T2 teve a maior amplitude erosiva de toda a praia, mas de maneira progressiva ao longo do tempo, seguido de T3; e T4 teve a menor erosão, porém sempre progressiva ao longo do tempo.

De maneira geral, as médias das *EPRs* representam essa tendência erosiva progressiva ao longo do tempo, com valores de recuos médios de -16,96m, em 1962-1973, -25,06m, em 1973-2001, e -42,02m entre 1962 e 2001.

As taxas médias de variação de largura (*AEPRs*) também evidenciam as tendências erosivas dessa praia no tempo (tabela 15).

Os fortes recuos observados no trecho centro-sul da praia demonstrando erosão progressiva em T1, T2 e T3, com perdas médias de -44m em T2, quase -38m em T1 e cerca de -26m em T3, sugerem a ocorrência de uma forte perturbação nessa praia, de longo período de tempo. Não obstante, os índices de variabilidade diferentes para cada transecto, sem haver uma tendência expressiva (variabilidade média em T1 e T3, alta em T2 e muito baixa em T4), parecem refletir, até certo ponto, a atuação de processos diferenciados em cada local, de curto a longo períodos de tempo.

Essa perturbação não poderia estar ligada à urbanização da orla, como nas praias descritas anteriormente, pois ali havia somente algumas antigas casas de pescadores, hoje já completamente destruídas.

Entretanto, uma intervenção antrópica indireta, como modificações na rede de drenagem devidas à construção da BR-101, poderia ter afetado em muito a chegada de sedimentos nessa praia, que passaria a receber baixo suprimento sedimentar e entraria em erosão progressiva e acelerada. Nas figuras 4 (canto superior direito) e 13 (lado direito da fotografia aérea de 1973) é possível observar alguns efeitos da interrupção da rede de drenagem a montante dessa rodovia. Por exemplo, em 2001 (e ainda atualmente) verifica-se que o rio que desembocava no canto E-SE da praia em 1962 e 1973, já não existe mais, tendo suas águas sido desviadas para o Rio Grande.

Tabela 14: Largura da praia nos transectos da praia da Barra Seca, médias e desvio-padrão das larguras e índice de variabilidade da praia

Transecto	Largura da praia (m) - praia da Barra Seca					
	1962	1973	2001	Média	Desvio-Padrão	Variabilidade
T1	62,05	23,4	5,5	30,32	28,90	Média
T2	75,51	55,64	9,44	46,86	33,90	Alta
T3	46,56	37,66	7,05	30,42	20,73	Média
T4	22,19	21,76	16,25	20,07	3,31	Muito Baixa

Tabela 15: Linha de costa (polígono praial) na praia da Barra Seca: variações da largura da praia nos transectos (*EPRs*) obtidas para os períodos de 1962-1973, 1973-2001 e 1962-2001 e taxas médias (*AEPRs*) de variação dos *EPRS* para o período completo

Transecto	Taxas de variação da linha de costa (m) - praia de Barra Seca			
	<i>EPR 1962-1973</i>	<i>EPR 1973-2001</i>	<i>EPR 1962-2001</i>	<i>AEPR 1962/1973/2001</i>
T1	-38,65	-17,9	-56,55	-37,70
T2	-19,87	-46,2	-66,07	-44,05
T3	-8,9	-30,61	-39,51	-26,34
T4	-0,43	-5,51	-5,94	-3,96
Médias	-16,96	-25,06	-42,02	-28,01

Nota: Os sinais negativos indicam erosão ou retrogradação da linha de costa.

Em relação às possíveis causas naturais, a erosão acelerada poderia ser também explicada pela elevação do NM e ainda por efeitos da dinâmica costeira.

Fenômenos de reflexão (ondas de ressonância ou *edge waves*) ou difração de ondas ao redor dos promontórios rochosos produzem trens de ondas secundários próximos à praia (Souza 1997), como pode ser observado na figura 4, no trecho ao redor do transecto T2-T3. Esses trens, por sua vez, induzem reversões locais na corrente de deriva litorânea principal, gerando pequenas células de deriva litorânea cujas zonas de divergência se instalam em locais fixos da praia. A tabela 16 mostra a distribuição das células de deriva litorânea obtidas para essa praia a partir de dados da perfilagem praial de 2001, na qual fica evidente a ocorrência de duas células, ambas com zona de barlar (centro de divergência) localizadas na área do transecto T2, e zonas de sotamar em T1 e T4.

Em outras palavras, uma vez atuando durante médio período de tempo, o processo descrito se traduz na presença de um foco estável de concentração de energia de ondas nesse local, causando forte erosão.

Calliari *et al.* (1998) descreveram o fenômeno em praias do Rio Grande do Sul e o associaram à erosão acelerada em certos trechos delas.

A área do transecto T4, além de ser zona de sotamar de célula de deriva litorânea (tabela 16 e Souza 1997), pode manter uma estabilidade relativa devido à contribuição sedimentar do Rio Grande.

A média das *AEPRs* obtida para os 39 anos nessa praia é de -28,01m, o que corresponderia a uma taxa de retrogradação da linha de costa de 0,78m/ano para esse período.

Praia de Ubatumirim/Estaleiro

Nesta praia observam-se comportamentos diferentes para ambos os seus segmentos, a praia do Estaleiro (transectos T1 a T4) e a praia de Ubatumirim (transectos T5 a T8), embora a tendência geral de ambos seja a retrogradação gradual da linha de costa (figura 14 e tabela 17).

Em 1962, o trecho mais estreito da praia estava entre os transectos T3 e T4, com cerca de 49m de largura, enquanto nas duas extremidades da praia estavam os locais de maior largura: T8, com cerca de 114m, e T1 com quase 93m.



Figura 13: Praia da Barra Seca nos anos de 1962 e 1973, respectivamente antes e após a implantação da rodovia BR-101 (no caso ainda não-pavimentada), a qual acabou provocando alteração na rede de drenagem, como pode ser visto no lado direito das fotografias.

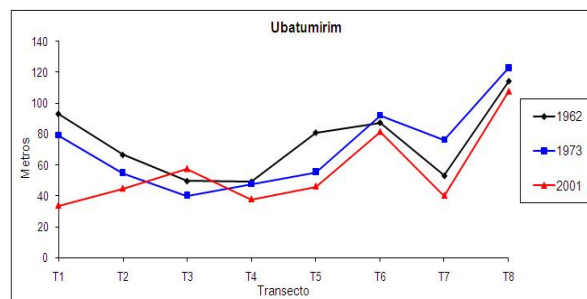


Figura 14: Variação da linha de costa (polígono praial) na praia de Ubatumirim/Estaleiro.

Tabela 16: Matriz de comparação para identificação de células de deriva litorânea segundo o método de Souza (1997, 2007b), relativa à perfilagem praial de 2001 na praia de Barra Seca -.

Perfil Praia (Transecto)	Diâmetro médio (ϕ)		Desvio-padrão (ϕ)		Curtose (ϕ)		Largura (m)		Inclinação (graus)		Resultado	Processo Resultante
752 (T1)	2.68	+	0.58	+	0.89	-	10.5	+	1	+	+	D
753 (T2)	1.97	-/+	0.73	-/-	1.03	+/+	5.5	-/-	6	-/-	-/-	E
754 (T4)	1.80	-	0.62	+	1.02	-	8	+	5	+	+	D

Nota: e = erosão, zona de barlamar de uma célula de deriva litorânea; d = deposição, zona de sotamar; t = transporte, zona de transporte. Cada célula se inicia em e termina em d

Em 1973, o mesmo comportamento é registrado, embora com larguras menores em T3 (40,15m) e T4 (47,49m), que continuavam sendo os trechos mais estreitos da praia, sendo T8 (122,8m) ainda o mais largo.

Em 2001, a tendência se confirma em T8, que conserva largura superior a 100m, e em T4, que passa a apresentar a menor largura (37,86m); entretanto, T1 sofre uma brusca variação de largura, recuando para menos de 34m.

Os valores de *EPRs* (tabela 18) mostram que: (a) no período 1962-1973, os transectos T1 a T5 sofreram

erosão, que variou de -1,72m (T4) a -25,38m (T5), e o trecho entre os transectos T6 e T8 sofreu progradação, variando de 4,47m (T6) a 23,18m (T7), sendo a média para toda a praia de -3,15m; (b) no período 1973-2001, à exceção de T3, que sofreu progradação de 17,45m, os demais transectos sofreram erosão, com taxas que variaram de aproximadamente -9m (T4 e T5) até -45,43m (T1), e média de -14,74m; (c) no período 1962-2001, T3 mostra progradação de 7,94m, e o restante da praia, recuos variando de -5,53m (T6) até -59,16m (T1), com média geral de -17,85m.

Tabela 17: Largura da praia nos transectos da praia de Ubatumirim/Estaleiro, médias e desvio padrão das larguras e índice de variabilidade da praia

Transecto	Largura da praia (m) - praia de Ubatumirim/Estaleiro						Variabilidade
	1962	1973	2001	Média	Desvio-Padrão		
T1	92,91	79,18	33,75	68,61	30,96		Alta
T2	66,49	54,95	44,85	55,43	10,83		Baixa
T3	49,66	40,15	57,6	49,14	8,74		Muito Baixa
T4	49,21	47,49	37,86	44,85	6,12		Muito Baixa
T5	80,85	55,47	46,26	60,86	17,91		Baixa
T6	87,24	91,91	81,71	86,95	5,11		Muito Baixa
T7	53,02	76,2	40,26	56,49	18,22		Baixa
T8	113,96	122,8	107,91	114,89	7,49		Muito Baixa

Tabela 18: Linha de costa (polígono praial) na praia de Ubatumirim/Estaleiro: variações da largura da praia nos transectos (*EPRs*) obtidas para os períodos de 1962-1973, 1973-2001 e 1962-2001 e taxas médias (*AEPRs*) de variação dos *EPRs* para o período completo

Transecto	Taxas de variação da linha de costa (m) - praia de Ubatumirim/Estaleiro			
	<i>EPR</i> 1962-1973	<i>EPR</i> 1973-2001	<i>EPR</i> 1962-2001	<i>AEPR</i> 1962/1973/2001
T1	-13,73	-45,43	-59,16	-39,44
T2	-11,54	-10,1	-21,64	-14,43
T3	-9,51	17,45	7,94	5,29
T4	-1,72	-9,63	-11,35	-7,57
T5	-25,38	-9,21	-34,59	-23,06
T6	4,67	-10,2	-5,53	-3,69
T7	23,18	-35,94	-12,76	-8,51
T8	8,84	-14,89	-6,05	-4,03
Médias	-3,15	-14,74	-17,89	-11,93

Nota: Os sinais negativos indicam erosão ou retrogradação e os positivos acreção ou progradação da linha de costa.

Essas variações também são registradas nos índices de variabilidade muito alta em T1 e baixa a muito baixa nos demais transectos.

Como resultado, as *AEPRs* (tabela 18) obtidas para esses transectos mostram progradação em T3 (5,29m), e retrogradação no restante da praia, com valores entre -3,69m (T6) e -39,44m (T1).

De maneira geral, as curvas do gráfico de variação de larguras apresentam-se sintônicas para os três anos no trecho entre os transectos T4, T5, T6, T7 e T8; parcialmente sintônicas para os anos de 1962 e 1973 nos transectos T1, T2, T3; mas completamente assintônicas para esses três transectos em 2001.

Esses resultados sugerem que:

- a praia apresenta tendências erosivas ao longo dos anos;
- a praia sofreu alguma intervenção no período 1973-2001, capaz de reduzir drasticamente sua largura média na extremidade sul (T1) e modificar as tendências da dinâmica costeira na praia do Estaleiro;
- a dinâmica costeira é pouco variável em toda a praia, mesmo na área próxima à desembocadura do rio Iriri (entre T4 e T5).

A erosão intensa no setor SE da praia do Estaleiro (transectos T1 e T2) predomina até os dias de hoje (figura 15) e se intensifica a cada ano. Ela é devida, principalmente, à modificação na rede de drenagem,

que ocorreu com a construção da BR-101 e à dinâmica de circulação costeira em T1 e T2 (Souza 1997, Souza & Alfredine 2000).



Figura 15: Erosão na praia do Estaleiro, proximidades do transecto T2 (Celia R. de G. Souza, 20/07/2003).

Com a construção dessa rodovia, o rio Ubatumirim, que desembocava na extremidade sul da praia do Estaleiro e tinha porte semelhante ao do rio Iriri (figura 16), teve suas águas desviadas para este último, restando hoje um paleocanal assoreado e de águas paradas (figura 5). Isso provocou queda intensa de suprimento sedimentar nesse trecho da praia e erosão acelerada. Além disso, nos transectos T1 e T2 ocorre alternância de circulação de células de deriva litorânea, ora com zona de divergência de duas células em T2 (Souza 1997), ora com deslocamento da zona de barlamar para T1 (tabela 19).

Obviamente, a elevação do nível do mar está entre as causas naturais para a retrogradação de longo período em toda a praia, já que a urbanização é rarefeita até os dias de hoje.

A média das AEPRs obtida para os 39 anos na praia de Ubatumirim/Estaleiro é de -11,93m, o que corresponderia a uma taxa de retrogradação da linha de costa de 0,31m/ano para esse período. Entretanto, se considerarmos os dois segmentos individualizados, para o segmento da praia de Ubatumirim a taxa de retrogradação seria de 0,25m/ano, e para a praia do Estaleiro seria de 0,36m/ano.



Figura 16: Praia de Ubatumirim/Estaleiro em 1962 e 1973, respectivamente, antes e após o início da construção da rodovia BR-101. O rio Iriri separa os dois segmentos praias, e o rio Ubatumirim está no canto SE da praia em ambas as fotografias.

Tabela 19: Matriz de comparação para identificação de células de deriva litorânea segundo o método de Souza (1997, 2007b), relativa à perfilagem praial de 2001 na praia de Ubatumirim/Estaleiro.

Perfil Praial (Transecto)	Diâmetro médio (ϕ)	Desvio-padrão (ϕ)	Curtose (ϕ)	Largura (m)	Inclinação (graus)	Resultado	Processo Resultante
777 (T8)	2.20 +	0.73 +	0.96 +	29.5 +	1 +	+	D
778 (T7)	1.73 -/-	0.74 -/-	0.95 -/+	22.9 -/-	2.5 -/-	-/-	E
779 (T6)	2.43 +/-	0.70 +/-	0.72 -/-	39.5 +/-	0 +/-	+/-	T
780 (T5)	3.07 +	0.50 +	1.10 +	43 +	1.5 -	+	D
Rio Iriri							
781 (T4)	3.07 -	0.47 0	1.24 -	22 -	2 0	-	E
782 (T3)	3.08 +/-	0.47 0/-	1.53 +/-	31.7 +/-	2 0/-	+/-	T
783 (T2)	3.25 +/-	0.34 +/-	1.70 +/-	31 -/-	1.5 +/-	+/-	D
784 (T1)	3.24 -	0.40 -	1.71 +	33.8 +	2 -	-	E

Nota: E = Erosão, Zona de barlamar de uma célula de deriva litorânea; D = Deposição, Zona de sotamar; T = Transporte, zona de transporte. Cada célula de inicia em E termina em D.

5. Conclusões

Os resultados mostram uma tendência geral (97% dos transectos) de retrogradação da linha de costa nas últimas quatro décadas, nas quatro praias estudadas, embora com taxas diferentes.

A maior taxa de retrogradação da linha de costa foi observada na Praia Grande, com 1,9m/ano. Em seguida e em ordem decrescente estão: a praia da Barra Seca, com 0,78m/ano, a praia do Estaleiro, com 0,36m/ano, a praia de Ubatumirim, com 0,25m/ano, e a praia de Maranduba, com 0,17m/ano. Assim, a média obtida para todo o município de Ubatuba seria da ordem de 0,69m/ano.

Esses resultados se assemelham aos da praia do Gonzaguinha (município de São Vicente, Baixada Santista), que é da ordem de 0,64m/ano para o mesmo período.

Em relação às perdas em área, os resultados obtidos pela comparação entre 1962 e 2001 revelam números alarmantes: em 2001 a Praia Grande teria perdido 85,5% da área que possuía em 1962; na praia da Barra Seca essa redução seria de 72,6%; em Maranduba seria de 43,5%; e as praias de Ubatumirim/Estaleiro teriam sido reduzidas em 26,6%.

Os volumes de sedimentos suprimidos dessas praias no período 1962-2001, por erosão, teriam sido de: 381.937,75m³ na Praia Grande, 87.196,75m³ na praia de Ubatumirim/Estaleiro, 67.111,05m³ na praia de Maranduba e 35.301,56m³ na praia da Barra Seca.

Os resultados apresentados aqui, adicionados aos estudos realizados até o momento nas praias de São Paulo, permitem concluir que são três as principais causas de erosão nas praias estudadas, em escalas de tempo diferentes: elevação do NM (longo período); dinâmica costeira, através da atuação de células de deriva litorânea estáveis em determinados trechos da praia (foco estável de energia de ondas) ou não-estáveis, com alta variabilidade (médio e curto períodos de tempo); e as intervenções antrópicas realizadas na orla marítima (principalmente construções sobre a pós-praia), ou indiretamente, na planície costeira, provocando modificações na rede drenagem e, portanto, alterações no balanço sedimentar costeiro (curto até longo período).

A elevação do NM responde através das tendências de retrogradação progressiva das praias ao longo dos anos, evidenciada pelo comportamento sintônico das curvas de variação da largura da praia e pelos índices de variabilidade baixa e muito baixa.

A dinâmica costeira responde através de variações locais no comportamento das larguras (índices de variabilidade média e *EPRs* elevados) e pela maior erosão ou acreção em trechos isolados das praias.

As causas antrópicas também podem ser evidenciadas através de variações espaço-temporais restritas, porém marcadas por mudanças abruptas no comportamento da largura praial em trechos mais longos das praias (curvas assintóticas, índices de variabilidade alta e muito alta, e *EPRs* e *AEPRs*

elevados), indicando erosão acelerada e permanente nesses trechos.

Finalmente, é importante ressaltar que, apesar dos erros inerentes a qualquer método indireto, no contexto atual de elevação do NM e mudanças climáticas, estudos como os realizados aqui são imprescindíveis para a gestão da orla marítima, pois poderão orientar ações futuras e subsidiar instrumentos normativos que visem à mitigação e/ou à recuperação dessas praias e à conservação das demais.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao estagiário Reinaldo S. Ferreira, do Instituto Geológico, pela colaboração na edição de algumas imagens.

Referências Bibliográficas

- Anders F.J., Byrnes M.R. 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59(1): 17-26.
- Boak E.H., Turner I.L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21(4): 688-703.
- Bruun P. 1988. The Bruun Rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two and three-dimensional usage. *Journal of Coastal Research*, 4: 627-648.
- Byrnes M.R., Crowell M., Fowler C. (eds.) 2003. *Shoreline Mapping and Change Analysis: Technical Considerations and Management Implications*. *Journal of Coastal Research*, SI 38, 215p.
- Camfield F.E., Morang A. 1996. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean & Coastal Management*, 32(2):129-151
- Calliari L.J., Spereanski N., Boukareva I. 1998. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. *Journal of Coastal Research*, 26: 19-23.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K. 1991. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 839-852.
- Denadai M.R., Gonçalves M.A.O., Olivato D., Turra A. 2009. Com quantas Memórias de faz uma Canoa. A Cultura do Uso e Feito das Canoas de "Um Pau Só" no Município de Ubatuba, SP. Edição do Autor, São Paulo, 215p.
- Dias G.P. 2005. Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Fluminense. 224p.
- Dolan R., Hayden B.P., May P., May S. 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48(4): 22-29.
- Dolan R., Fenster M.S., Holme S.T. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 723-744.
- Douglas B.C., Crowell M. 2000. Long-term shoreline position prediction and error propagation. *Journal of Coastal Research*, 16(1): 145-152.
- Esteves L.S., Williams J.J., Nock A., Lymbery G. 2009. Quantifying shoreline changes along the Sefton coast (UK) and the implications for research-informed coastal management. *Journal of Coastal Research*, SI 56(1): 602-606.
- Fenster M.S., Dolan R., Morton R.A. 2001. Coastal storms and shoreline change: signal or noise? *Journal of Coastal Research*, 17(3): 714-720.
- Honeycutt M.G., Crowell M., Douglas B.C. 2001. Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. *Journal of Coastal Research*, 17(3): 721-730.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Changes: The Physical Science Basis*. Summary of Policymakers (disponível em <http://www.ipcc.ch>).
- Mesquita A.R. 2003. Sea-level variations along the Brazilian coast: a short review. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 35, p. 21-31.

- Muehe D. (org.) 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, D.F., Brasil. 476 p.
- Moore L.J. 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1): 116-124.
- Souza C.R. de G. 1997. As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências-USP. Volume I (Texto), 184p.; Volume II (Anexos), 174p.
- Souza C.R. de G. 2001. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and causes of coastal erosion along the State of São Paulo coast, Brazil. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2): 459-474.
- Souza C.R. de G. (coord.) 2005. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro - SIIGAL Fase II. 4º Relatório Científico, (Fapesp nº 1998/14277-2), 199p. (inédito).
- Souza C.R. de G. 2007a. 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). Anais, CD-Rom.
- Souza C.R. de G. 2007b. Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 50, p. 620-625.
- Souza C.R. de G. 2008. Erosão na Praia do Gonzaguinha-Milionários (São Vicente, SP): Causas e Projeções. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, Belo Horizonte (MG). Anais, CD-Rom.
- Souza C.R. de G. 2009a. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Instituto de Botânica-SMA, São Paulo (SP). p. 48-69.
- Souza C.R. de G. 2009b. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(1): 17-37. (disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/revista9f1.html>).
- Souza C.R. de G., Alfredine P. 2000. Excursion Route along the State of São Paulo (SP). In: Souza C.R. de G., Silva C.G., Dias G.T., Alfredine P., Angulo R.J., Soares C.R., Souza M.C. (eds.) Coastal Ecosystems of the Rio de Janeiro, São Paulo and Paraná States and some Environmental Impacts due to their Use and Occupation. 31st Geological International Congress, Sociedade Brasileira de Geologia, Rio de Janeiro. Field Trip Guide, Part II, p. 13-57.
- Souza C.R. de G., Barbosa F.O. 2007. Taxas de recuo da Praia do Gonzaguinha (São Vicente-SP) no período de 1962 a 2001, baseadas em fotografias aéreas. In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, Belém (PA). Anais, 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 State Plan for Coastal Management. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 35, p. 530-592.
- Souza C.R. de G., Souza Filho P.W.M., Esteves S.I., Vital H., Dillenburg S.R., Patchineelam S.M., Addad J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: Souza C.R. de G., Suguio K., Oliveira A.M. dos S., Oliveira P.E. de. (eds.) Quaternário do Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto (SP), p. 130-152.