

**Estudo de Vulnerabilidades no Litoral do
Estado do Rio de Janeiro
Devido às Mudanças Climáticas**

Relatório Final

Autores:

Claudio F. Neves - neves@peno.coppe.ufrj.br

Dieter E. Muehe - dieter@ufrj.br

Enise M. Valentini – enise@ufrj.br

Paulo C. C. Rosman – pccrosman@ufrj.br

Cliente: Secretaria de Estado do Ambiente - RJ

Dezembro de 2007

Conteúdo

1. Identificação.....	9
2. Objetivos.....	9
3. Visão Geral sobre o Litoral do Brasil	11
3.1. Histórico	11
3.1.1. Panorama de 1986 a 1996.....	12
3.1.2. Panorama de 1996 a 2006.....	23
3.1.3. Panorama para o Futuro.....	24
4. Visão Geral sobre o Litoral do Estado do Rio de Janeiro	28
4.1. Caracterização Morfológica da Zona Costeira	28
4.1.1. Compartimento entre os rios Itabapoana e Paraíba do Sul	29
4.1.2. Planície Costeira entre a foz do rio Paraíba do Sul e o rio Macaé	30
4.1.3. Embaíamento do rio São João	36
4.1.4. Embaíamento de Cabo Frio.....	37
4.1.5. Região dos Lagos.....	38
4.1.6. Baía de Guanabara.....	42
4.1.7. Baixada de Jacarepaguá	45
4.1.8. Baía de Sepetiba	47
4.1.9. Baía de Ilha Grande	49
4.2. Tendência do Nível Médio do Mar no Estado do RJ	50
4.3. Clima de Ondas.....	56
5. Sobre intervenções de engenharia.....	61
5.1. Principais efeitos das mudanças climáticas nas zonas costeiras.....	61
5.1.1. Conseqüências de cada efeito isoladamente e de forma cumulativa (sinérgica)	61
5.2. Ações de engenharia para prevenção e remediação	66
5.2.1. Ações preventivas em praias oceânicas de zonas costeiras urbanizadas.....	66
5.2.2. Ações preventivas em baixadas de baías e sistemas lagunares	68
5.2.3. Considerações finais sobre respostas de engenharia	69
6. Sobre intervenções em diferentes compartimentos costeiros	72
6.1. Compartimentos morfológicos da zona costeira.....	72
6.1.1. Compartimento entre os rios Itabapoana e Paraíba do Sul	73
6.1.2. Planície Costeira entre a foz do rio Paraíba do Sul e o rio Macaé.....	75
6.1.3. Embaíamento do rio São João	79
6.1.4. Embaíamento de Cabo Frio.....	81
6.1.5. Região dos Lagos.....	82

6.1.6. Baía de Guanabara.....	85
6.1.7. Baixada de Jacarepaguá	87
6.1.8. Baía de Sepetiba	89
6.1.9. Baía de Ilha Grande	91
7. Referências.....	94
7.1. Referências bibliográficas.....	94
7.2. Referências via web	99

Índice de Figuras

Figura 1: Variação do nível médio do mar ao longo da costa atlântica das Américas, do Golfo do México e Caribe (Fonte: PIRAZZOLI, 1986).	13
Figura 2: Distribuição populacional entre municípios costeiros e demais municípios: divisão por Estado da Federação e para todo o país (MUEHE & NEVES, 1995).	17
Figura 3: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: Região Norte (MUEHE & NEVES, 1995).	18
Figura 4: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: porção setentrional da Região Nordeste (MUEHE & NEVES, 1995).	19
Figura 5: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: porção ocidental da Região Nordeste (MUEHE & NEVES, 1995).	20
Figura 6: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: Região Sudeste (MUEHE & NEVES, 1995).	21
Figura 7: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: Região Sul (MUEHE & NEVES, 1995).	22
Figura 8: Estimativa da elevação do nível do mar por ação do vento na baía de Sepetiba, município do Rio de Janeiro, para diferentes velocidades de vento.	26
Figura 9: : Processo de monitoramento ambiental: visão sistêmica.	27
Figura 10: Unidades hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SERLA 1995).	28
Figura 11: Ponta do Retiro. Falésia, pináculo e testemunho de recuo da linha de costa. (Fonte: MUEHE, 2006).	30
Figura 12: Planície costeira do rio Paraíba do Sul. Em vermelho, depósitos pleistocênicos em forma de cristas de praia e em amarelo depósitos holocênicos. Paleocanais estão representados em azul. (Fonte: MUEHE & VALENTINI, 1998).	31
Figura 13: Detalhes do litoral oriental do Estado do Rio de Janeiro. Contorno da linha de costa e indicação das localidades. Linha batimétrica de 10m salientando o banco submarino ao largo do Cabo de São Tomé. Sentido do transporte litorâneo segundo CASSAR & NEVES (1993). Figura reproduzida de BASTOS (1997).	32
Figura 14: Visualização de feições do litoral oriental do Estado do Rio de Janeiro e indicação de localidades citadas. As setas indicam o sentido resultante do transporte sólido promovido por ondas ao longo da costa.	33
Figura 15: Seqüência de fotos ilustrando a evolução do litoral em torno da Barra do Furado. Da direita para a esquerda e de cima para baixo: Durante as obras de construção dos guias-correntes, seqüência de fotos ao longo do tempo mostrando a evolução da linha de costa após a implantação da estrutura.	35
Figura 16: Superposição de perfis de praia mostrando pequena variabilidade topográfica em Lagomar (Macaé). O perfil em vermelho mostra os efeitos da forte tempestade de junho de 1997 que provocou a acumulação de sedimentos. (Fonte: MUEHE 1998c).	36
Figura 17: Compartimento Macaé ao cabo Búzios	37
Figura 18: Compartimento cabo Búzios ao cabo Frio.	37
Figura 19: Trecho oriental do compartimento, com a laguna de Araruama, os duplos cordões litorâneos, as lagunas intercordões e a praia oceânica da Massambaba, mostrando o caráter retificado deste litoral. Na extremidade esquerda a laguna de Saquarema.	40
Figura 20: Superposição de perfis de praia (em amarelo) mostrando grande variabilidade topográfica na praia de Massambaba. O perfil em verde mostra as feições anteriores a ocorrência de uma forte	

<i>ressaca, representada em vermelho, e o perfil em azul a recuperação da praia nos meses seguintes</i> <i>(Fonte: MUEHE 1998c).</i>	41
<i>Figura 21: Evolução do balanço sedimentar em dunas frontais na Massambaba no período de abril de 1996</i> <i>a maio de 1998 (Fonte: MUEHE & VALENTINI, 1998).</i>	41
<i>Figura 22: Aporte médio mensal de água doce na baía de Guanabara segundo KJERFVE et. al. (1997).</i>	42
<i>Figura 23: Imagens do efeito de ressaca na praia de Piratininga, Niterói, RJ.</i>	44
<i>Figura 24: Imagens do efeito de ressaca na praia de Ipanema, Rio de Janeiro, RJ.</i>	44
<i>Figura 25: Baixada de Jacarepaguá, vendo-se em posição mais interiorizada o complexo lagunar</i> <i>Jacarepaguá-Camoçim–Tijuca e à frente a laguna de Marapendi.</i>	45
<i>Figura 26: Imagens da orla costeira na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.</i>	47
<i>Figura 27: Baía de Sepetiba com a restinga da Marambaia e a baixada costeira adjacente.</i>	48
<i>Figura 28: Cordão litorâneo da Marambaia. Esquerda: Transposição do cordão. Direita Erosão no flanco</i> <i>lagunar. (Fonte: Muehe,2006)</i>	48
<i>Figura 29 Baía da Ilha Grande com seus três principais compartimentos.</i>	49
<i>Figura 30: Praia de Mambucaba. Erosão incipiente na escarpa da pós-praia.</i>	50
<i>Figura 31: Valores de nível médio do mar, promediados por intervalo de 9 anos, nas estações do USGS no</i> <i>Brasil. (Imagem cedida por Eng.Cart. Roberto T. Luz, IBGE).</i>	51
<i>Figura 32: Variação do nível médio do mar na Ilha Fiscal, baía de Guanabara, RJ.</i>	52
<i>Figura 33: Variação do nível médio do mar em Charleston (EUA), Cananéia (SP) e Santos (SP).</i>	53
<i>Figura 34: Histograma de Marés Meteorológicas entre 1965 e 1986 na Baía de Guanabara-RJ (COSTA</i> <i>NEVES, 1992).</i>	54
<i>Figura 35: Pressão atmosférica média mensal das estações da REDEMET e do NCEP/NCAR no período de</i> <i>janeiro de 2003 a dezembro de 2004. (MENEZES, 2007).</i>	55
<i>Figura 36: Resposta dinâmica da praia às ondas e à elevação do nível do mar.</i>	57
<i>Figura 37: Estimativa do recuo da linha de praia para três tamanhos de grãos (diâmetro mediano 0,35, 0,50</i> <i>e 0,65mm) e diferentes valores de elevação do nível do mar (0,6 a 2,0m) em função das alturas de onda.</i> <i>As linhas cheias correspondem a diâmetro mediano igual a 0,50mm.</i>	58
<i>Figura 38: Exemplo de resposta da praia de Ipanema-Leblon a um clima de ondas de Sudeste.</i>	58
<i>Figura 39. Esquema de recuo de linha de costa em decorrência de elevação do nível médio do mar.</i>	62
<i>Figura 40. Evidências da tendência de aumento da magnitude de marés meteorológicas na Baía de</i> <i>Guanabara, RJ. Os valores indicados representam diferenças entre níveis de maré medidos e níveis de</i> <i>maré previstos. Tais diferenças são basicamente devido às marés meteorológicas. (NEVES, S.C., 1992)..</i> 63	63
<i>Figura 41. Registro de maré meteorológica no Estado do Rio de Janeiro. A linha vermelha representa níveis</i> <i>previstos de maré astronômica. A linha azul retrata os níveis reais medidos, que englobam os efeitos de</i> <i>maré astronômica e maré meteorológica. As linhas pontilhadas marcam os níveis médios do mar previstos</i> <i>e medidos ao longo dos dias. A maré meteorológica se caracteriza pela variação do nível médio diário,</i> <i>i.e., a diferença entre a linha pontilhada azul e a linha pontilhada vermelha.</i>	64
<i>Figura 42. Exemplo de arco de praia em zona urbana – praia do Arpoador-Ipanema-Leblon. Destaca-se a</i> <i>típica tendência de realinhamento do litoral devido a mudanças de direção de propagação das ondas</i> <i>em anos de El Niño. Efeitos similares podem ocorrer como consequência de mudanças climáticas.</i>	65
<i>Figura 43. O perfil azul indica uma possível intervenção de aumento de estoque de areia em uma praia</i> <i>oceânica em zona costeira urbanizada.</i>	67
<i>Figura 44. Possível solução para possibilitar o aumento do estoque de areia em praias urbanas muito</i> <i>extensas. No exemplo a praia da barra da Tijuca no Recreio foi segmentada por guia-correntes ligando</i>	

<i>a Lagoa de Marapendi ao mar. Além de viabilizar o engordamento indicado, criou-se uma condição para melhoria da qualidade das águas na Lagoa. No caso, outra abertura mais a leste seria necessária, para criar outra enseada.</i>	67
<i>Figura 45. Estimativa de efeitos da subida do nível médio do mar nas marés na Baía de Guanabara. O gráfico acima mostra previsões de variação dos níveis de maré na região da foz do Rio Iguaçu. Os mapas mostram estimativas de mudanças de batimetria decorrentes de assoreamentos prováveis. Em ambos as batimetrias são referidas ao NMM de 2001. Nota-se que devido a efeitos dinâmicos, a variação efetiva nos níveis de maré no fundo da baía pode ser até 10% superior à variação do nível médio do mar.</i>	71
<i>Figura 46: Unidades hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SERLA 1995).</i>	72
<i>Figura 47: Planície costeira em Barra de Itabapoana: exploração de areia. Ao fundo situa-se a Ponta do Retiro (Foto: C.F. Neves).</i>	74
<i>Figura 48.: Vista do pontal de Atafona, na margem direita do delta do rio Paraíba do Sul. É visível o grave problema de erosão costeira na localidade.</i>	74
<i>Figura 49: Detalhes do litoral oriental do Estado do Rio de Janeiro. Contorno da linha de costa e indicação das localidades. Linha batimétrica de 10m salientando o banco submarino ao largo do Cabo de São Tomé. Sentido do transporte litorâneo segundo CASSAR & NEVES (1993). Figura reproduzida de BASTOS (1997).</i>	75
<i>Figura 50: Seqüência de fotos ilustrando a evolução do litoral em torno da Barra do Furado. Da direita para a esquerda e de cima para baixo: Durante as obras de construção dos guias-correntes, seqüência de fotos ao longo do tempo mostrando a evolução da linha de costa após a implantação da estrutura.</i>	78
<i>Figura 51: Barra do rio Macaé e destruição de casas após ressaca em agosto de 2007.</i>	79
<i>Figura 52: Compartimento Macaé ao cabo Búzios.</i>	80
<i>Figura 53: Compartimento cabo Búzios ao cabo Frio.</i>	80
<i>Figura 54: Urbanização da orla em Búzios. Observar a estreita faixa de areia e o muro vertical, que propicia a reflexão das ondas.</i>	81
<i>Figura 55: Embocadura da lagoa de Saquarema: guia-corrente na praia de Itaúna, vista para Oeste da praia de Saquarema e obras no canal. (Foto: C.F. Neves, 2007).</i>	83
<i>Figura 56: Embocadura artificial da laguna de Itaipu. (Foto: C.F. Neves, 2007).</i>	83
<i>Figura 57: Sistema de comportas nos canais de captação de esgotos e águas pluviais em Cabo Frio. (Foto: C.F. Neves, 2007).</i>	84
<i>Figura 58: Imagens do efeito de ressaca na praia de Piratininga, Niterói, RJ.</i>	86
<i>Figura 59: Imagens do efeito de ressaca na praia de Ipanema, Rio de Janeiro, RJ.</i>	87
<i>Figura 60: Baixada de Jacarepaguá, vendo-se em posição mais interiorizada o complexo lagunar Jacarepaguá-Camoçim-Tijuca e à frente a laguna de Marapendi.</i>	88
<i>Figura 61: Imagens da orla costeira na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.</i>	89
<i>Figura 62: Baía de Sepetiba com a restinga da Marambaia e a baixada costeira adjacente.</i>	90
<i>Figura 63: Pedra de Guaratiba, município do Rio de Janeiro: urbanização do Projeto Orla e e rede de coleta de esgotos junto às casas: vulnerabilidade à elevação do nível do mar e ondas no interior da baía de Sepetiba. (Fotos: Claudio Neves, 2007)</i>	90
<i>Figura 64: Praias de Dona Luíza, do Cardo e de Sepetiba: presença de muros refletores. Observar a destruição da escada de acesso à praia. (Fotos: Claudio Neves, 2007).</i>	91
<i>Figura 65: Cordão litorâneo da Marambaia. Esquerda: Transposição do cordão. Direita Erosão no flanco lagunar. (Fonte: Muehe, 2006)</i>	91
<i>Figura 66 Baía da Ilha Grande com seus três principais compartimentos.</i>	92

<i>Figura 67: Praia de Mambucaba. Erosão incipiente na escarpa da pós-praia.....</i>	<i>93</i>
--	-----------

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1: Densidade populacional por extensão da linha de costa.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2: Estimativa do transporte de sedimentos devido às ondas ao longo da linha de costa. Valores médios expressos em m³/dia. (Fonte: CASAR & NEVES, 1993).....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 3: Características hidrológicas e morfológicas das principais lagoas do compartimento Região dos Lagos segundo KJERFVE et al. 1996.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 4: Taxas de deposição/erosão (segundo OLIVEIRA, 1996).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 5: Estimativa do transporte de sedimentos devido às ondas ao longo da linha de costa. Valores médios expressos em m³/dia. (Fonte: CASAR & NEVES, 1993).....</i>	<i>76</i>

1. Identificação

Projeto COPPETEC:	PENO-9501
Título:	Estudo de Vulnerabilidades no Litoral do Estado do Rio de Janeiro devido às Mudanças Climáticas Relatório Final
Interessado:	SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO Att. Secretário de Estado Dr. Carlos Minc Baumfeld Av. Graça Aranha 182, 6º Andar
Programa COPPE:	Engenharia Oceânica Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica
Equipe:	Claudio Freitas Neves Dieter Muehe Enise Valentini Paulo Cesar Colonna Rosman (coordenador)
Data:	12 de Dezembro de 2007

2. Objetivos

Este Relatório Final apresenta dados e análises, conclusões e recomendações relativas aos estudos desenvolvidos objetivando fornecer informações e recomendações, sob a ótica da Engenharia Costeira, para a compreensão da nova dinâmica a ser vivenciada pelo litoral do Estado do Rio de Janeiro considerando um cenário com tendência de mudanças climáticas e possível sobre-elevação do nível médio relativo do mar.

O primeiro relatório tratou das Etapas I e II, concernentes ao levantamento e análise de dados pretéritos e pertinentes ao estudo e que estejam disponíveis para uso livre. Isso significa levantamento de dados brutos necessários como também informações pertinentes que se possam alcançar através da literatura. Neste Relatório Final consolida-se tais informações, apresenta-se um inventário das informações disponíveis na literatura e sua compilação aos olhos dos interesses expressos neste trabalho, com análises preliminares.

Este relatório é composto de uma primeira parte que contempla uma revisão histórica da questão em pauta no âmbito nacional. A segunda parte é dedicada às características do Estado do Rio de Janeiro onde é apresentada uma descrição morfológica do litoral respeitando sua compartimentação fisiográfica. Em seguida discute-se, em caráter geral, intervenções de engenharia objetivando prevenir, mitigar e remediar conseqüências dos possíveis efeitos das mudan-

ças climáticas na zonas costeiras em costa aberta e em áreas marginais de baixadas de sistemas lagunares e de baías. Finalmente, recomendações são feitas especificamente para cada compartimento do litoral do Estado do Rio de Janeiro.

3. Visão Geral sobre o Litoral do Brasil

Nesta seção apresenta-se uma visão geral do litoral do Brasil, objetivando melhor contextualizar o litoral do Estado do Rio de Janeiro.

3.1. Histórico

Desde o final da década de 80, vários estudos têm sido conduzidos no âmbito do Intergovernamental Panel on Climate Changes (IPCC) e outros organismos da Organização das Nações Unidas para identificar áreas de risco, quantificar os impactos, propor respostas economicamente viáveis e, principalmente, estimular o monitoramento permanente de áreas costeiras. PIRAZZOLI (1986), utilizando os dados de nível do mar cadastrados no Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), caracterizou a variação do nível médio do mar em todos os continentes, com séries de dados de durações diversas. A Figura 1 mostra as séries temporais de nível médio relativo do mar em vários pontos da costa Atlântica das Américas. O autor evidenciou tendências de elevação em vários pontos de observação, exceto em altas latitudes onde o efeito do derretimento do gelo após a última Era Glacial provocava a compensação eustática por causa do alívio de peso, com um aparente rebaixamento do nível do mar. Em regiões deltaicas, no entanto, foi constatado que o nível relativo do mar aparentava uma taxa de elevação bem maior que em outros locais, como resultado de subsidência do terreno. Portanto, as principais constatações daquele autor foram: (1) existem ciclos de oscilação do nível do mar com periodicidades de 20 anos e por este motivo, qualquer análise de tendência deve contemplar um intervalo de observações mínimo de 50 anos; embora exista uma variação eustática, global, do nível do mar, a variação do nível médio relativo é um fenômeno local.

O Brasil, pela extensão de sua zona costeira, não poderia ficar alheio a tais esforços e em meados da década de 80, pode-se descrever o seguinte panorama. A comunidade acadêmica conduzia vários estudos para quantificar mudanças geomorfológicas na zona costeira. Órgãos governamentais, em geral de âmbito interministerial, respondiam às iniciativas internacionais, formando comissões específicas ou grupos de trabalho para dar início ao Gerenciamento Costeiro. Os governos locais também se preocupavam com fenômenos de erosão costeira, porém não associavam tais fenômenos às eventuais mudanças de regime das ondas ou às variações do nível do mar em relação ao continente. Administrações portuárias e órgãos ambientais também conduziam campanhas de monitoramento, porém objetivando obter subsídios para projetos específicos ou então para avaliar possíveis impactos ambientais de um dado empreendimento. Iniciava-se um esforço, em escala nacional, para estabelecer um Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, conduzido de forma descentralizada pelos diversos Estados da Federação, que estabelecia: (1) a execução de um mapeamento cartográfico temático de toda a zona costeira, tanto da área emersa quanto da área submersa, em quadriculas de 1'×1', na escala 1:1.000.000 (macrozoneamento costeiro); (2) a elaboração de um Sistema de Informações Geográficas em escala nacional; e (3) a criação de Colegiados Estaduais e Federal para condução do Gerenciamento Costeiro.

Para um observador à distância, a situação brasileira parecia, então, bastante promissora e, teoricamente, hoje poderíamos imediatamente responder ao desafio de planejar as respostas aos impactos de uma possível elevação do nível do mar para o ano 2100.

A realidade, porém, olhando de perto, era bem diferente e, 20 anos depois, pode-se dizer que algumas poucas ações necessárias ainda estão apenas começando.

3.1.1. Panorama de 1986 a 1996

Esta foi uma década de muitos contrastes, que evidenciaram a vulnerabilidade da zona costeira e a fragilidade das ações por parte dos diversos segmentos da sociedade e do governo quanto ao gerenciamento desta região geográfica tão importante. A Constituição de 1988 instituiu a totalidade da zona costeira brasileira como área de conservação ambiental, no mesmo nível de importância que a Amazônia, o Pantanal e a Mata Atlântica.

Em 1985, sob a coordenação da Secretaria Executiva da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), foi estabelecida uma metodologia para a condução do Macrozoneamento Costeiro de toda a costa brasileira, reunindo esforços de órgãos ambientais de todos os estados litorâneos. A proposta possuía vários pontos positivos, pois descentralizava as ações, transferindo recursos e responsabilidades para os Estados, previa a criação de um sistema informatizado de informações, fomentava a criação de órgãos colegiados para tomadas de decisão no âmbito do gerenciamento costeiro. O plano original exigia um imenso esforço cartográfico, estabelecendo cerca de uma dúzia de mapas temáticos e cobrindo toda a costa brasileira em quadrículas de 1'×1'. Os avanços variaram significativamente de Estado para Estado, e os resultados desta fase são, no mínimo, controversos para uma utilização atual. O mais sério, porém, é que nunca se cogitou de buscar, mesmo nesta escala macro, uma compatibilização cartográfica das partes emersas e imersas da zona costeira.

Em 1986, o Brasil já havia, há várias décadas concluído o levantamento batimétrico (Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN) e cartográfico (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e 5ª Divisão de Levantamento do Exército – V-DL) de toda sua zona costeira. Entretanto, estes instrumentos cartográficos não se encontravam em escalas compatíveis, não possuíam referências geodésicas comuns, nem horizontais, nem verticais, sequer era possível determinar com precisão o que era uma “linha de costa” naqueles mapas. Isto era reflexo de organizações, cujos fins eram pragmaticamente bem definidos e constitucionalmente delimitados, que não se comunicavam entre si e, objetivamente, não tinham motivo para se comunicarem!

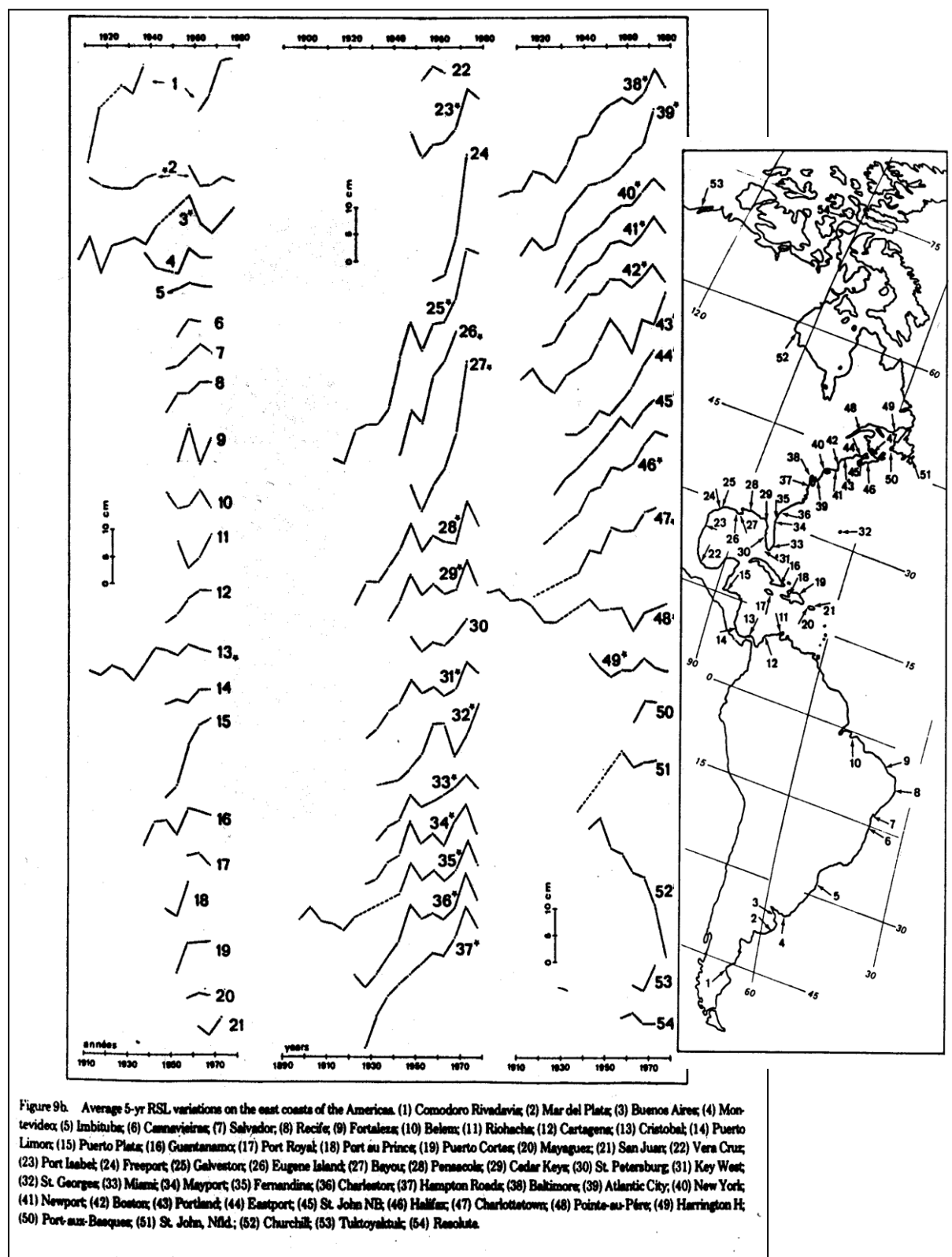


Figura 1: Variação do nível médio do mar ao longo da costa atlântica das Américas, do Golfo do México e Caribe (Fonte: PIRAZZOLI, 1986).

Em consequência disso, os portos, as empresas construtoras e projetistas de obras portuárias e costeiras, definiam datum vertical local e adotavam datum horizontal que fosse o mais conveniente. Assim, em uma dada localidade, podiam ser encontradas, pelo menos, três referências de nível: a cota IBGE, referida ao datum de Imbituba, SC; o zero hidrográfico da Marinha, estabelecido pela DHN, mas nem sempre materializado em local próximo; e o denominado “zero PORTOBRAS”, estabelecido localmente. Na maioria das vezes, não era (e hoje em dia ainda não é) possível relacionar nenhuma dessas referências altimétricas entre si.

No final da década de 1980, o IBGE e a Empresa de Portos do Brasil – PORTOBRAS estabelecem um convênio com o propósito de estabelecer o vínculo das Referências de Nível dos marégrafos instalados em alguns de seus portos com a Rede Nacional Altimétrica do IBGE. Os portos passariam assim a ter uma cota conhecida e passível de ser relacionada a outras obras continentais.

Em março de 1990, por decisão presidencial, foi extinta a PORTOBRAS, empresa holding que reunia todas as administrações portuárias públicas estaduais e o Instituto de Pesquisas Hidroviárias – INPH. Entre outras atribuições, o INPH era responsável pela manutenção de uma rede nacional de marégrafos, pela coleta de dados e pela guarda e interpretação dos maregramas. Portanto, subitamente, o Brasil deixou de monitorar a maré nos seus portos. O INPH subsiste até hoje, mas não teve mais como dar continuidade às atividades de monitoramento costeiro de ondas e do nível do mar da mesma forma que conduzia até 1990. O que é mais sério ainda: perderam-se as cadernetas de campo dos levantamentos topográficos de controle geodésico dos marégrafos. Em consequência disso, os maregramas não podem ser referidos a um datum vertical comum e confiável, impedindo assim uma visão de variação de longo prazo do nível do mar. Atualmente, a única instituição a monitorar continuamente o nível do mar desde o início da década de 1950 é o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, em sua estação de Cananéia, e, desde o início da década de 1960, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (hoje o Centro de Hidrografia da Marinha) mantém um marégrafo operando na Ilha Fiscal, cuja série foi interrompida nos anos 1980 a 1982.

Motivado pela Conferência das Nações Unidas (UNCED) em 1992, no Rio de Janeiro, e na sua esteira nos anos que se seguiram, o Brasil instalou um programa de monitoramento oceânico (GLOSS), capitaneado pela DHN e, pela primeira vez, reunindo o IBGE, representantes da comunidade acadêmica, de administrações portuárias privadas e do INPH. Era o primeiro sinal de esperança para a implantação de uma visão efetivamente abrangente para a questão do monitoramento costeiro, começando pela informação mais fácil de ser obtida: o nível do mar. NEVES et al. (1992) fazem um levantamento da situação da época, e vêem a engenharia costeira como condição necessária para o desenvolvimento sustentável da região litorânea brasileira.

Em 1993, a Comissão de Engenharia Costeira da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) promove uma mesa-redonda sobre o tema “Monitoramento Costeiro”, dividindo o tema em três tópicos considerados mais urgentes: ondas, nível do mar e praias. As conclusões de um painel que reuniu cerca de 30 especialistas, ao longo de 3 meses de trabalho, resultou em poucas medidas concretas. Os interessados em medir algum parâmetro ambiental continuariam a fazer de acordo com seus interesses específicos e não havia nenhuma entidade nacio-

nal (ou estadual) que cogitasse em congregar as informações ou mesmo que se interessasse em implementar as medidas recomendadas.

Em 1996, a Sociedade Brasileira de Cartografia – SBC cria um grupo de trabalho, envolvendo profissionais de diversos órgãos interessados no monitoramento do nível do mar. Era uma iniciativa, que se propôs voluntária e independente, dos técnicos que lá se reuniram, todos preocupados com a questão maregráfica. Deste esforço, resultou um grupo no Estado do Rio de Janeiro, reunindo a UFRJ, a DHN, o IBGE, o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM, a Petrobras, Furnas Centrais Elétricas (posteriormente substituída pela Eletro nuclear S.A, em função da transferência de responsabilidade sobre a Usina Nuclear de Angra dos Reis) e a Minerações Brasileiras Reunidas – MBR. Todas essas instituições tinham interesse direto nas informações maregráficas, ou possuíam equipamentos instalados, ou se dedicavam à pesquisa sobre o assunto.

A partir desse ano também, inicia-se a realização de uma série de Seminários sobre Ondas e Marés, organizado pelo IEAPM e realizado a cada dois anos em Arraial do Cabo. A questão maregráfica tem sido constante nestes eventos.

Em 1990, através de uma cooperação entre a Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica da COPPE e o Departamento de Geografia, ambos da UFRJ, inicia-se um projeto de pesquisa conjunto dedicado ao estudo das *variações do nível relativo do mar*. Alguns aspectos merecem ser destacados. Em primeiro lugar, entendiam os coordenadores, Profs. Cláudio Neves e Dieter Muehe, que havia demasiada especulação e sensacionalismo por parte da imprensa sobre o tema de elevação do nível do mar, quando, na verdade, poucas medições confiáveis eram feitas no Brasil. Em segundo lugar, as mudanças em escala de tempo secular, quando traduzidas para variações anuais, são demasiadamente pequenas para motivar o público leigo ou os tomadores de decisão, posto que se relaciona a eventos aparentemente muito distantes (pelo menos além de três períodos eleitorais). Em terceiro lugar, todos os estudos comprovam que o nível do mar varia de ano para ano, de mês para mês, e até de semana para semana. Finalmente, há indícios em várias partes do mundo onde o nível do mar aparentemente está descendo, posto que o nível do continente está subindo (como é o caso do Alasca e da Noruega, como consequência do degelo da última Era Glacial e expansão das rochas que foram liberadas do peso do gelo). Portanto, dois conceitos pareciam bem mais apropriados para caracterizar as mudanças do nível do mar: a palavra *Variação*, bem mais próxima da realidade do que uma elevação em escala global e secular, e a palavra *Relativa*, pois remetia à exigência de um monitoramento geodésico concomitante.

Nessa época são concluídos dois estudos importantes. O primeiro visava identificar e quantificar, ao longo de toda a costa brasileira, quais os impactos advindos de uma elevação uniforme de 1m do nível do mar (MUEHE & NEVES, 1995), parâmetro este estabelecido de modo universal pelo IPCC para efeitos de comparação mundial de vulnerabilidade. Este estudo desmistificou várias crenças sobre a zona costeira brasileira: por exemplo, apenas 25% da população brasileira vivia nos municípios litorâneos ou até 60 km afastados, na planície costeira. Qual seria o impacto da elevação do nível do mar sobre as populações de Curitiba ou São Paulo? Apesar dos Estados do Paraná e de São Paulo possuírem faixa costeira, elas são parcialmente povoadas, exceto pela costa norte de São Paulo. Ao contrário, no Nordeste e no estado do Rio de Janeiro, a população por questões climáticas ou geográficas, é forçada a se des-

locar para a costa. O Estado do Rio Grande do Sul apresenta a rigor uma extensão duplicada de linha de costa vulnerável à elevação do nível do mar: a costa oceânica propriamente dita e as margens da Lagoa dos Patos. Este estudo: (1) dividia a costa brasileira em 5 segmentos (Norte, Nordeste Setentrional, Nordeste Meridional, Sudeste e Sul); (2) identificava as feições geomorfológicas em cada segmento, especialmente aquelas que fossem mais suscetíveis a erosão; (3) contabilizava a população das micro-regiões do IBGE que vivia nos municípios banhados pelo mar ou por estuários; (4) estabelecia um índice população / km de linha de costa, como uma medida de impacto sob a forma de impostos ou da provável divisão dos ônus das obras de proteção costeira; (5) identificava as atividades econômicas envolvidas em cada região, potencialmente impactáveis por elevação ou rebaixamento do nível do mar.

A partir deste estudo, ficava caracterizado que aproximadamente metade da costa brasileira era parcamente ocupada (densidade populacional das micro-regiões era inferior a 1.000 hab/km de linha de costa – Tabela 1) e que a população concentrava-se em torno das regiões metropolitanas das capitais. A Figura 2 mostra que, dos Estados brasileiros, o Estado do Rio era aquele que apresentava a segunda maior concentração populacional nos municípios costeiros (70% da população estadual), superado pelo Amapá e seguido pelo Pará, cujas populações concentram-se no delta do rio Amazonas e o interior é área de florestas. É surpreendente, no entanto, que a participação populacional nos municípios costeiros (ou que estejam em áreas estuarinas) em todo o Brasil manteve-se constante nos censos de 1980 e 1991 em torno de 20%. Tal porcentagem é bem inferior àquela imaginada como sendo um país densamente povoado na costa e desabitado no interior: de fato, Estados populosos como São Paulo e Paraná, apesar de serem litorâneos e possuírem portos importantes, concentram sua população no planalto.

As imagens apresentadas da Figura 3 à Figura 7 mostram os mapas de distribuição populacional para os vários segmentos da costa brasileira. Outro critério econômico utilizado como indicador do grau de aproveitamento da zona costeira foi a existência de portos e terminais marítimos, o que favorece necessariamente concentrações populacionais e diversificação de atividades econômicas. Percebe-se claramente que a Região Sudeste é aquela que concentra o maior número de portos em termos absolutos, como também em termos relativos à extensão de sua linha de costa. A localização dessas instalações, seja no interior de baías ou estuários, seja em costa aberta, determinará diferentes graus e tipos de vulnerabilidades a mudanças climáticas. No primeiro caso deverão ser considerados novos padrões de circulação hidrodinâmica, enquanto que no segundo caso, deverão ser considerados novos padrões de agitação marinha. Em ambos os casos, porém, deverão ser revistos cuidadosamente as vulnerabilidades das instalações portuárias ao regime de ventos, posto que eles afetam o deslocamento de navios, os esforços sobre equipamentos e estruturas, a mobilização de material estocado em pilhas (i.e. carvão, minério), entre outros impactos.

Tabela 1: Densidade populacional por extensão da linha de costa.

habitantes / km costa	1980	1991
<1.000	3.824	3.328
1.000-5.000	2.683	2.867
5.000-10.000	385	512
>10.000	560	745
Total	7.452	7.452
	extensão (km)	

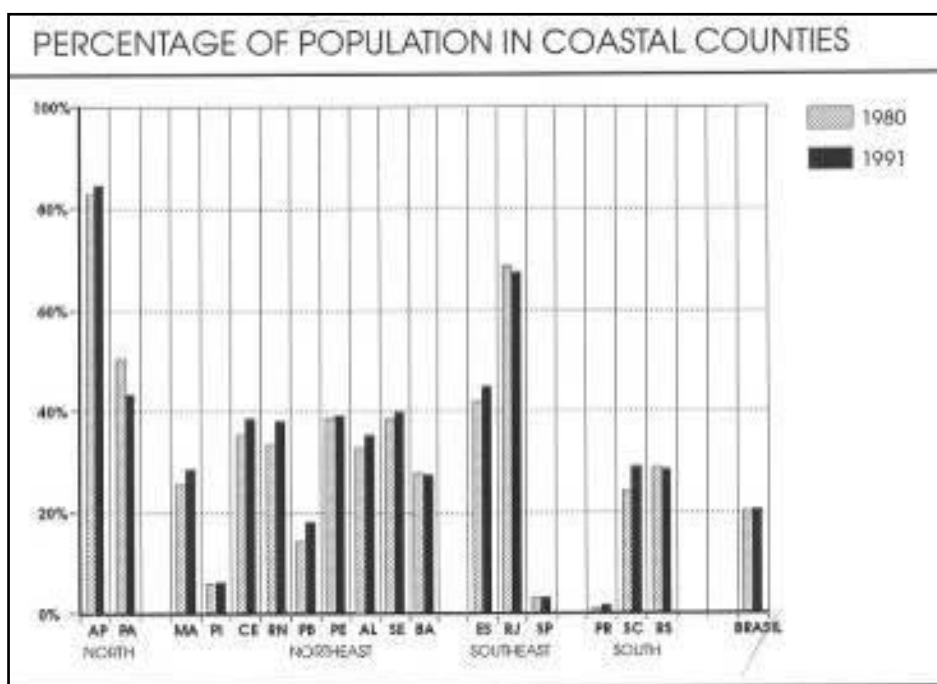


Figura 2: Distribuição populacional entre municípios costeiros e demais municípios: divisão por Estado da Federação e para todo o país (MUEHE & NEVES, 1995).

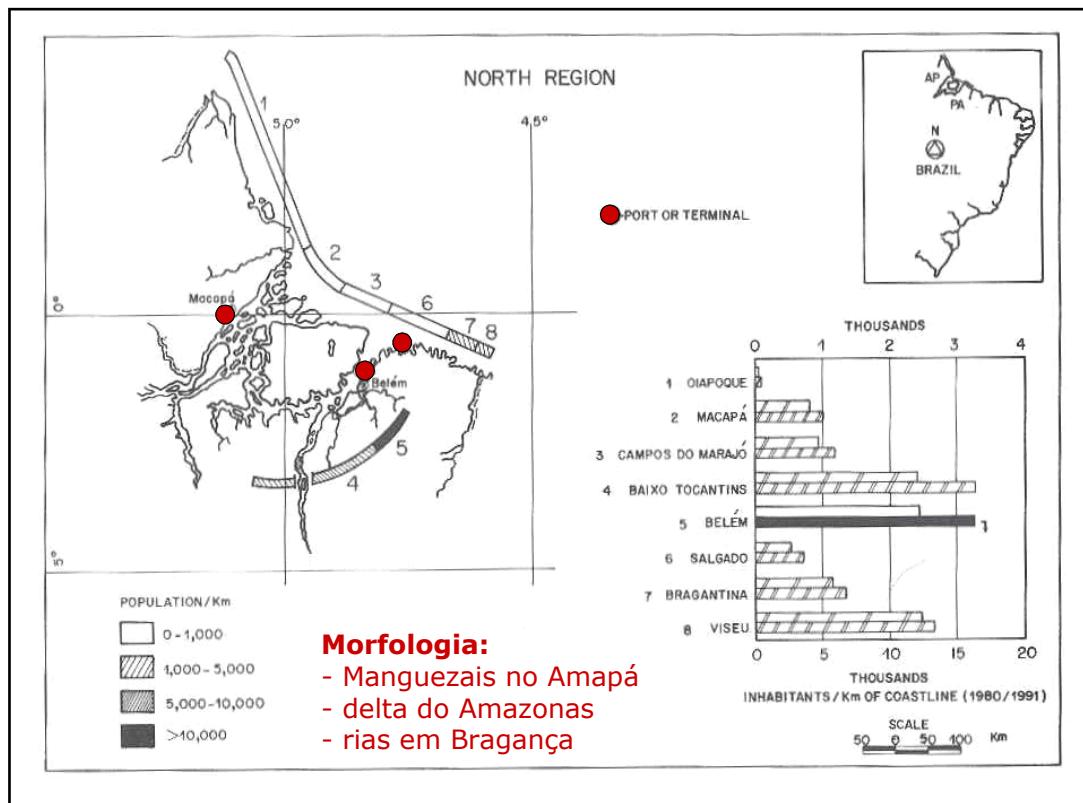


Figura 3: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: Região Norte (MUEHE & NEVES, 1995).

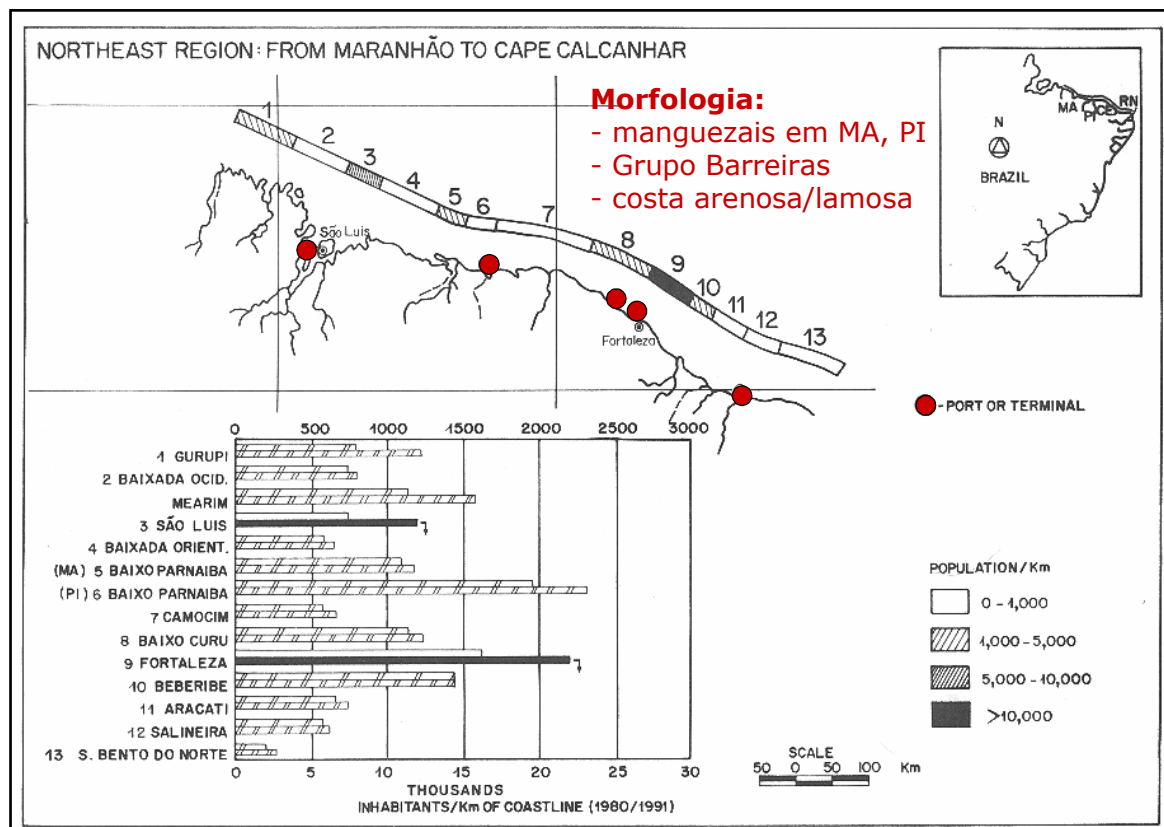
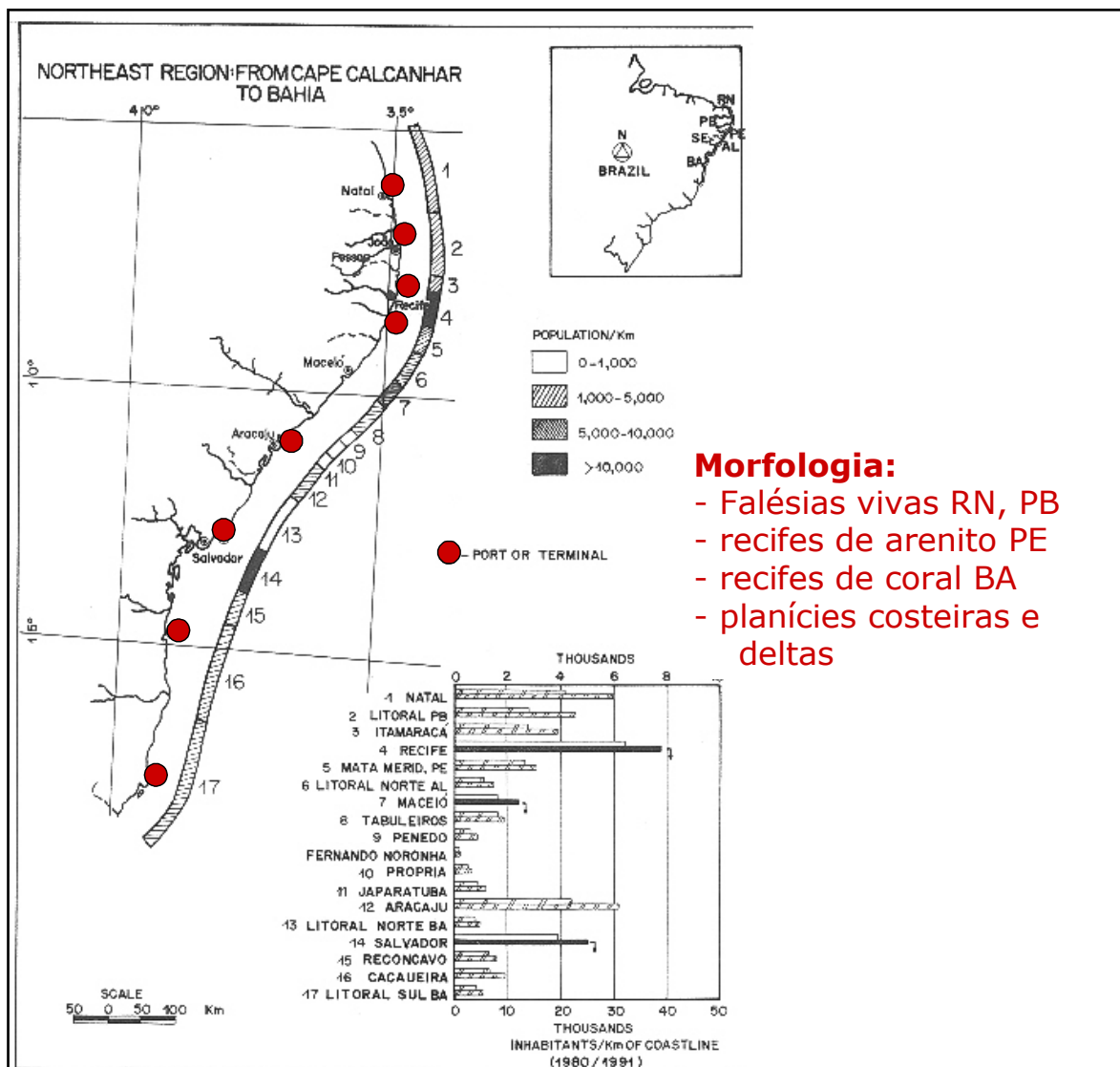


Figura 4: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: porção setentrional da Região Nordeste (MUEHE & NEVES, 1995).



Morfologia:

- Falésias vivas RN, PB
- recifes de arenito PE
- recifes de coral BA
- planícies costeiras e deltas

Figura 5: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: porção ocidental da Região Nordeste (MUEHE & NEVES, 1995).

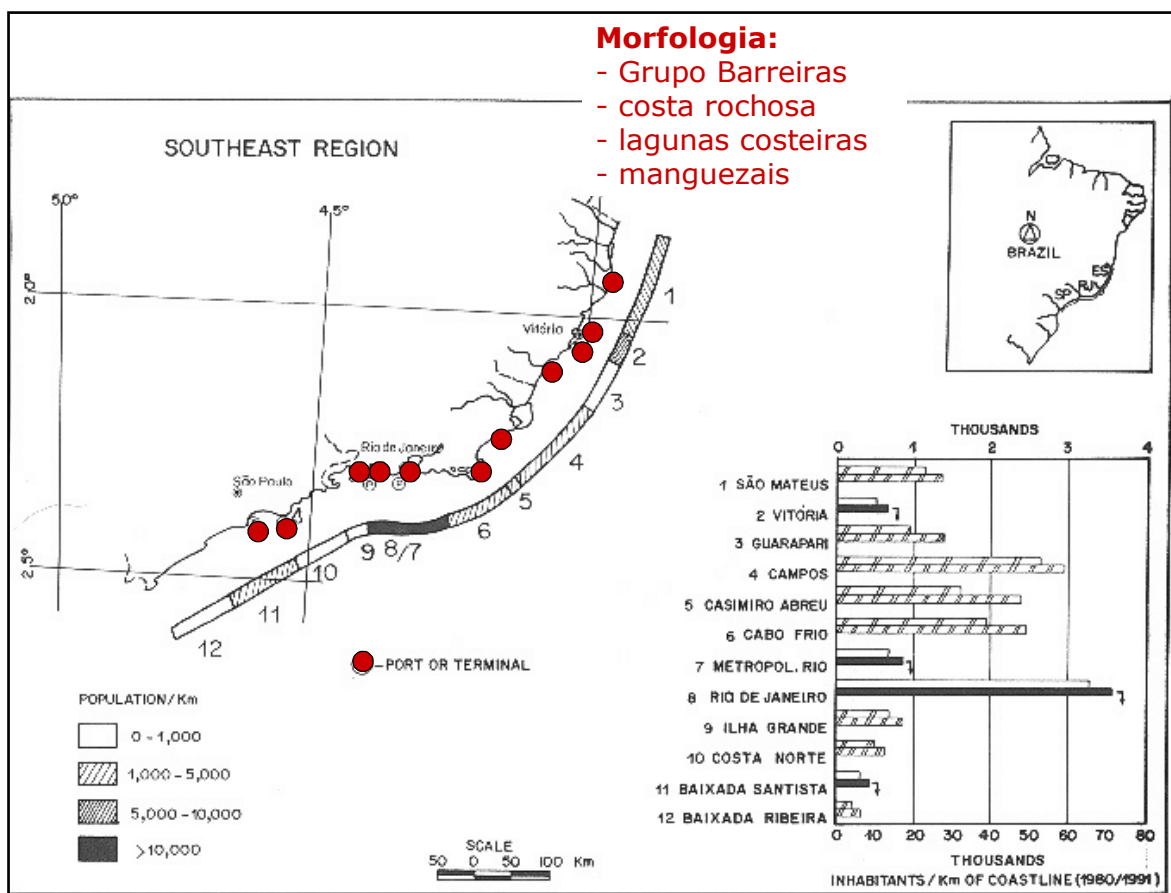


Figura 6: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: Região Sudeste (MUEHE & NEVES, 1995).



Figura 7: Características morfológicas, populacionais e localização de portos e terminais: Região Sul (MUEHE & NEVES, 1995).

Para esse estudo, por exemplo, foi impossível obter informações cartográficas que permitissem mapear quais regiões costeiras seriam inundáveis devido à elevação de 1m do nível do mar. Não apenas não se dispunha de informações cartográficas para a maior parte da extensão de nossa linha de costa, como também não se conseguia estabelecer uma relação entre as alturas das Tábuas de Maré da DHN e as cotas apresentadas nos mapas terrestres do IBGE. Por uma questão de praticidade, o estudo em questão recomendava que fossem aprofundados os levantamentos e estudos em 5 localidades:

1. Região Bragantina (PA), por apresentar importância econômica, taxas de crescimento populacional significativas e morfologia singular da costa (rias) com cobertura de manguezais e grande amplitude de maré;
2. Região Metropolitana de Fortaleza (CE), em função da alta densidade populacional e dos problemas correntes de erosão costeira;
3. Região Metropolitana do Recife (PE) em função dos problemas de erosão e da geomorfologia local em torno do estuário dos rios Capibaribe e Beberibe;
4. Região Metropolitana do Rio de Janeiro, situada entre duas baías e a maior cidade costeira brasileira; e
5. No entorno da Lagoa dos Patos (RS) pelos impactos advindos sobre terras baixas e conseqüências da intrusão salina.

O único local onde se pôde efetuar um estudo aprofundado foi em Recife (NEVES & MUEHE, 1995), pois se dispunha então de um completo levantamento em ortofotocartas da Região Metropolitana, em escala 1:10.000, as informações maregráficas do porto do Recife estavam relacionadas ao datum do IBGE e da PORTOBRAS, assim como as previsões de maré da DHN. Com a utilização de um Sistema de Informações Geográficas, SAGA, disponível no Departamento de Geografia da UFRJ, pôde-se mapear as áreas de mangues, de praias, áreas alagáveis etc.; pôde-se ainda quantificar o transporte litorâneo nas praias protegidas por arrecifes e, finalmente, estimar quantitativamente a variação da altura das ondas que atingiriam as praias da Região Metropolitana do Recife, em função de uma elevação do nível médio do mar em 1m.

3.1.2. Panorama de 1996 a 2006

O fim dos anos 90 não foi animador para a questão do nível do mar. Durante os encontros técnicos, como os Simpósios sobre Ondas e Marés (OMAR) organizados bienalmente pelo IEAPM – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, sempre se falava da questão maregráfica, porém pouco se avançava. Um dos obstáculos, acreditava-se, era a deficiência de instrumentos e a ineficiência dos marégrafos analógicos, que exigiam a troca diária do papel de registro. Algumas instituições acreditavam que trocando o marégrafo diário por um marégrafo semanal estavam “progredindo”, esquecendo-se porém que os equipamentos com registro semanal utilizados, por exemplo, pelo IEAPM, não produziam resultados mais confiáveis, seja por deficiência de relojoaria seja por imprecisão gráfica dos registros. É uma lástima que algumas instituições ainda utilizem tais equipamentos, acreditando que as informações obtidas poderão ser utilizadas amplamente.

Nessa época, desenvolvem-se os primeiros marégrafos digitais na COPPE, denominado DIGILEVEL. Com precisão de 1cm, fornecia dados em intervalos de tempo escolhidos pelo usuário, que podiam ser tão curtos quanto o minuto. Problemas de manutenção do equipamento e a falta de aperfeiçoamento contínuo do equipamento levaram os usuários a abandonar essa experiência promissora.

Por iniciativa da Sociedade Brasileira de Cartografia, em 1996 forma-se um grupo de trabalho com participantes oriundos de diversas instituições, civis e militares, universidades e empresas, para discutir a questão maregráfica em toda a sua complexidade, especialmente sua relação com as questões geodésicas, especialmente o datum altimétrico para todas as obras instaladas na zona costeira. Este grupo de trabalho organiza um projeto piloto, intitulado Rede Maregráfica Fluminense, para avaliar as necessidades de implantação, operação e manutenção de uma rede operacional, que incorporava as seguintes instituições: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Petrobras, responsáveis pela operação, manutenção e segurança de um marégrafo no porto de Imbetiba, Macaé; IEAPM, responsável integralmente pelo marégrafo e tratamento de registros do Porto do Forno, Arraial do Cabo; DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação responsável integralmente pelo marégrafos de Ponta da Armação, Niterói, e da Ilha Fiscal, Rio de Janeiro; IBGE, responsável pelo marégrafo instalado no píer do Salvamar na praia de Copacabana, cujos dados foram tratados pela Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica da COPPE/UFRJ; MBR – Minerações Brasileiras reunidas, responsável pelo marégrafo na Ilha da Madeira, Mangaratiba; e Furnas Centrais Elétricas, posteriormente substituída pela Eletronuclear S.A., responsável pelo marégrafo instalado na marina da enseada de Piraquara, Angra dos Reis, cujos dados eram tratados pela Área de Engenharia Costeira

e Oceanográfica da COPPE/UFRJ. Foi responsabilidade do IBGE fazer a conexão entre todos esses marégrafos por nivelamento geométrico de precisão, ao longo de uma rede de quase 800 km de extensão, desde Mambucaba até Macaé. Utilizando dois anos de dados gerados pela Rede, KALIL (1999) apresentou pela primeira vez uma visão sinótica das flutuações do nível do mar ao longo da costa fluminense, evidenciando a propagação de ondas longas de plataforma e sugeriu que fossem investigadas as influências meteorológicas de meso-escala.

Coloca-se então a necessidade de uma mudança radical de foco: a medição deveria se dirigir ao usuário. Os *dados* deveriam ser transformados em *informação*, algo que fosse valorizado pelo dono do marégrafo, ou pela comunidade que utilizasse as previsões de maré para suas atividades diárias. Ou seja, o monitoramento ambiental costeiro era uma questão de EDUCAÇÃO, e não mais uma questão eminentemente técnica.

A partir de 2002 iniciam as primeiras mudanças muito promissoras. Por iniciativa do Ministério do Meio Ambiente, começam a ser confeccionados os *Atlas de Erosão e Progradação do Litoral do Brasil* (Muehe, 2006). É organizado o Programa GOOS/Brasil – Global Ocean Observing System, no âmbito do qual insere-se o Programa GLOSS/Brasil que estabelece uma Rede Maregráfica Permanente Brasileira, instalada em Imbituba (SC), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), Fortaleza (CE), Santana (AP), e nas ilhas oceânicas de Fernando de Noronha e Trindade, com equipamentos de última geração, acompanhamento geodésico e com um corpo de instituições responsáveis coordenadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação.

Várias instituições passaram a medir o nível do mar, o assunto passa a ser mais freqüente na mídia em tom menos sensacionalista, e resultados do meio acadêmico apontam para correlações importantes entre fenômenos atmosféricos e oscilações do nível médio do mar. Existem evidências suficientes de que ondas de plataforma percorrem a costa brasileira, provocando oscilações comparáveis à oscilação da maré em alguns locais. As séries de dados da Ilha Fiscal, no Rio de Janeiro, e em Cananéia, SP, completaram 50 anos de duração, tempo mínimo para se inferir alguma tendência.

Finalmente, em dezembro de 2004, quando os reflexos do tsunami da Indonésia atingem a costa brasileira e são registrados, desperta-se uma nova consciência: a da urgência de monitoramento conduzido de maneira permanente, metódica e regular, produzindo informações úteis para a sociedade. Este objetivo está prestes a ser alcançado por conta da exploração de recursos minerais na plataforma continental e pela revitalização do transporte marítimo, posto que os portos são vitais para o crescimento das exportações brasileiras. De fato, a partir da Lei 8630/93, as administrações portuárias passam a ter responsabilidades ambientais específicas, que implica na implantação de um Sistema de Gestão Ambiental e no desenvolvimento de Planos de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ). Acredita-se assim que o monitoramento costeiro deixe de ser uma utopia.

3.1.3. Panorama para o Futuro

A divulgação dos Relatórios Preliminares do IPCC no primeiro semestre de 2007, referentes à Quarta Rodada de trabalhos, provocou uma resposta mundial indicativa de clara mudança política, de mobilização da sociedade e de responsabilidade da classe científica. Os esforços empreendidos em termos do aperfeiçoamento dos modelos numéricos para previsão de mudanças climáticas, envolvendo atmosfera, hidrosfera, criosfera e litosfera, trouxeram muitos avanços.

Mas também trouxeram muitas incertezas pois uma parte significativa do planeta, o Hemisfério Sul, carece de observações de fenômenos naturais.

O tsunami da Indonésia em dezembro de 2004 evidenciou, ao mesmo tempo, as virtudes e as fraquezas das redes internacionais de observação, quando se deparou com o desafio (por que não dizer, com o choque) que a tecnologia representa para diferentes culturas, meios de comunicação e questões sociais. O furacão Katrina nos EUA demonstrou claramente que nem mesmo a nação mais rica do mundo estava imune às respostas violentas da Natureza, trazendo à lembrança várias outras catástrofes naturais que ocorreram ao longo da história da civilização. No Brasil, ocorre em 2005 o primeiro furacão registrado em nossa história, um ciclone extra-tropical que ganha força, muda sua trajetória de propagação costumeira do continente para o oceano, volta-se em direção ao continente e atinge o litoral sul do Estado de Santa Catarina. Pode-se assegurar que os cenários futuros serão de incerteza e de instabilidade.

Alguns modelos numéricos de simulação climática indicam de fato que o litoral Sul do Brasil até o Cabo Frio passaria a ser uma região afetada por ciclones com força de furacão. Num cenário de aquecimento global, mudanças no regime de ventos sobre o Atlântico Sul, mudanças no padrão de circulação oceânica induzida nas regiões equatorial, tropical e polar, aquecimento e fortalecimento da Corrente do Brasil, mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul, incluindo a questão do desmatamento da Amazônia, ocupação do cerrado e do Pantanal, todos esses fatores juntos seriam condições certamente preocupantes para a previsão climática, tanto atmosférica quanto oceanográfica, no Brasil.

As previsões de elevação global do nível do mar indicam, para diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa, taxas que variam de 18 cm a 59 cm em 2099, relativo a 1999. Deve-se lembrar, contudo, que há 120.000 anos, o nível do mar encontrava-se a cerca de 6 m acima do nível atual no Rio de Janeiro e a previsão do IPCC para o caso de derretimento completo das geleiras da Groenlândia é de uma elevação global de 7 m do nível do mar.

O nível médio do mar, porém, é uma variável dinâmica, que responde a forçantes atmosféricas e oscila em forma de ondas de longo período (alguns dias até alguns meses) que se propagam ao longo da plataforma continental. A passagem de um ciclone (sistema atmosférico de baixa pressão) provoca uma elevação do nível médio do mar denominada maré meteorológica, que, no caso de furacões, pode atingir até 3m com duração de 5 a 7 dias.

Observações desse fenômeno na Ilha Fiscal e em Cananéia indicam valores médios de 60 cm, podendo eventualmente atingir 90 cm de sobre-elevação do nível médio do mar, com periodicidade de 5 a 9 dias. Em corpos d'água rasos, como é o caso das baías e lagunas costeiras, as tensões tangenciais, provocadas pelo vento sobre o espelho d'água, empilham a água contra a costa provocando uma sobre-elevação adicional. A Figura 8 mostra um exemplo calculado para a baía de Sepetiba em três praias do município do Rio de Janeiro (das Brisas, de Sepetiba e em frente à Base Aérea de Santa Cruz). Para um vento de 100 km/h, valor por sinal já registrado tanto no Porto de Sepetiba em 2006 quanto na baía de Guanabara em 1987, haveria uma elevação de 50 a 70 cm, que se superporia à maré meteorológica e à maré astronômica, produzindo uma elevação total do nível d'água da ordem de 150 a 200 cm acima do nível médio normal.

Finalmente, as ondas em ressaca, ao arrebentarem na praia, também provocam uma elevação adicional do nível do mar, da ordem de 20% da altura da onda, que se manifesta em termos de erosão de praias e de penetração em canais de maré. Portanto, somente através do monitoramento permanente e sistemático, torna-se possível distinguir as tendências de longo prazo, associadas à elevação eustática prevista pelo IPCC, dos efeitos transientes, estes de magnitude significativamente maior e totalmente imprevisíveis pelos modelos de escala global utilizados no âmbito do IPCC.

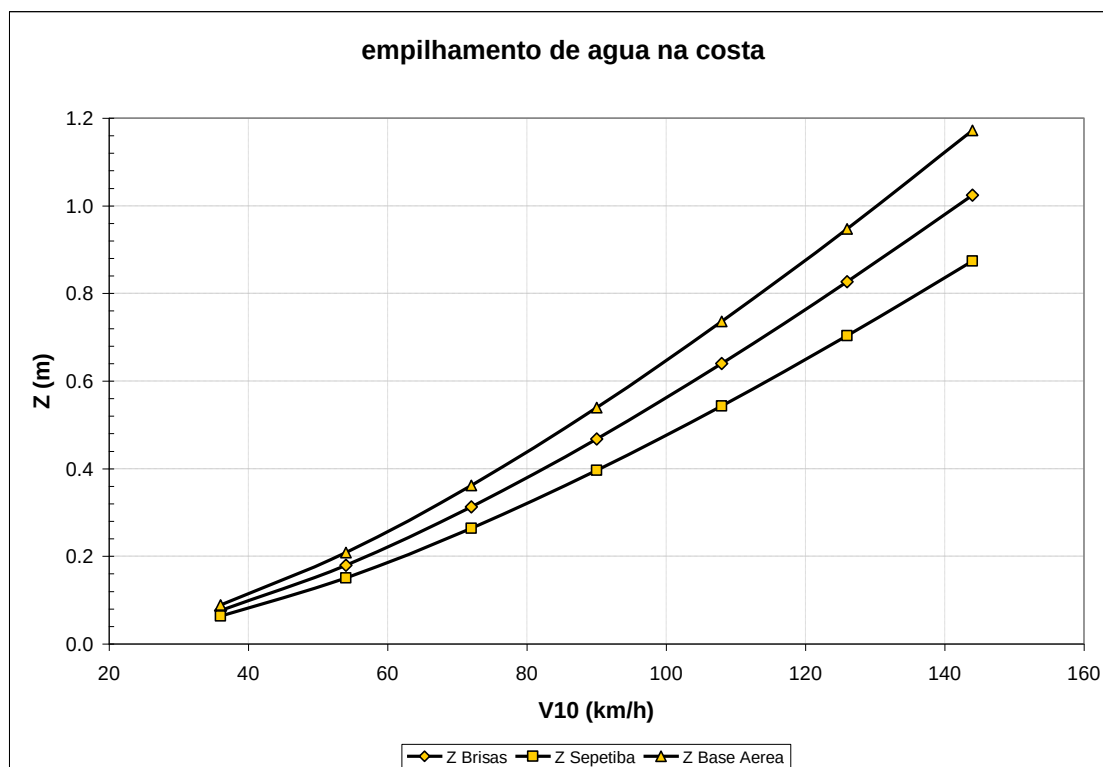


Figura 8: Estimativa da elevação do nível do mar por ação do vento na baía de Sepetiba, município do Rio de Janeiro, para diferentes velocidades de vento.

As primeiras três décadas deste século serão cruciais para a definição clara das tendências dos sistemas atmosférico e oceânico. Elas serão o tempo de monitoramento intensivo, extensivo e coordenado. Uma nova filosofia de monitoramento deverá ser implantada, complementar àquela tomada até hoje em dia, que considerava apenas os impactos que o Homem poderia causar na Natureza. Chegou o tempo do Homem perguntar e se precaver dos impactos que a Natureza poderá trazer para a Sociedade. Será um tempo de incertezas e de instabilidades. Todas as séries de dados que foram coletadas até hoje não poderão contribuir para as inferências estatísticas, mas apenas servir como um cenário básico, contra o qual as novas tendências poderão ser comparadas. O conceito moderno de monitoramento exigirá uma visão sistêmica sobre o ambiente conforme ilustrada na Figura 9: os dados deverão ser necessariamente transformados em informação, útil e utilizável, pela Sociedade; por sua vez, através da Educação, os tomadores de decisão e os cidadãos estarão capacitados para interpretar as informações e tomar decisões que garantam a ocupação sustentável da zona costeira. Por sua vez, a coleta de

dados será feita por equipamentos cada vez mais sofisticados, que exigirão novas competências dos observadores e treinamentos mais complexos. Na medida em que todas as camadas da Sociedade, inclusive as mais desfavorecidas, percebam os benefícios do monitoramento, a segurança dos equipamentos ficará assegurada – e as histórias de vandalismo que hoje se contam, passarão a ser coisa do passado.



Figura 9: : Processo de monitoramento ambiental: visão sistêmica.

De acordo com este novo enfoque, as medições para caracterizar o ambiente físico devem ser conjugadas, coordenadas e cooperativas, permitindo a análise conjunta de dados: oceanográficos (nível do mar, ondas, correntes), meteorológicos (vento, pressão, temperatura, taxa de insolação, IUV, entre outros), geodésicos (movimentos relativos horizontais e verticais da crosta terrestre, gravimetria), topo-batimétricos (perfis de praia, formas de fundo).

4. Visão Geral sobre o Litoral do Estado do Rio de Janeiro

Esta seção apresenta uma visão geral do litoral do Estado do Rio de Janeiro, abordando aspectos relativos à sua morfologia, tendências observadas de mudanças do nível do mar e sobre o clima de ondas.

4.1. Caracterização Morfológica da Zona Costeira

A linha de costa do Estado do Rio de Janeiro, com cerca de 600km de extensão, apresenta a maior diversidade morfológica em todo o país (VALENTINI & NEVES, 1993; MUEHE & VALENTINI, 1998, MUEHE. 2006). Como o litoral é um ambiente de interface entre o continente, o oceano e a atmosfera, uma análise consistente desse meio considera as contribuições de todos esses universos. As feições morfológicas que se verificam na costa mostram a resposta dessa integração, a qual que se dá de forma contínua ao longo do tempo, sujeita às variações de agentes motrizes e passivos de origem natural ou antrópica. Essa visão integrada é adotada, na medida do possível, na descrição que se segue.

Numa visão macroscópica do litoral do Estado do Rio de Janeiro que considere a morfologia do litoral e as áreas de influência costeira das principais bacias hidrográficas pode-se dividir o litoral do Rio de Janeiro em nove compartimentos, correspondendo, em grande parte, aos limites costeiros das unidades hidrográficas adotadas pela Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA, apresentado na Figura 10.

UNIDADES HIDROGRÁFICAS
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

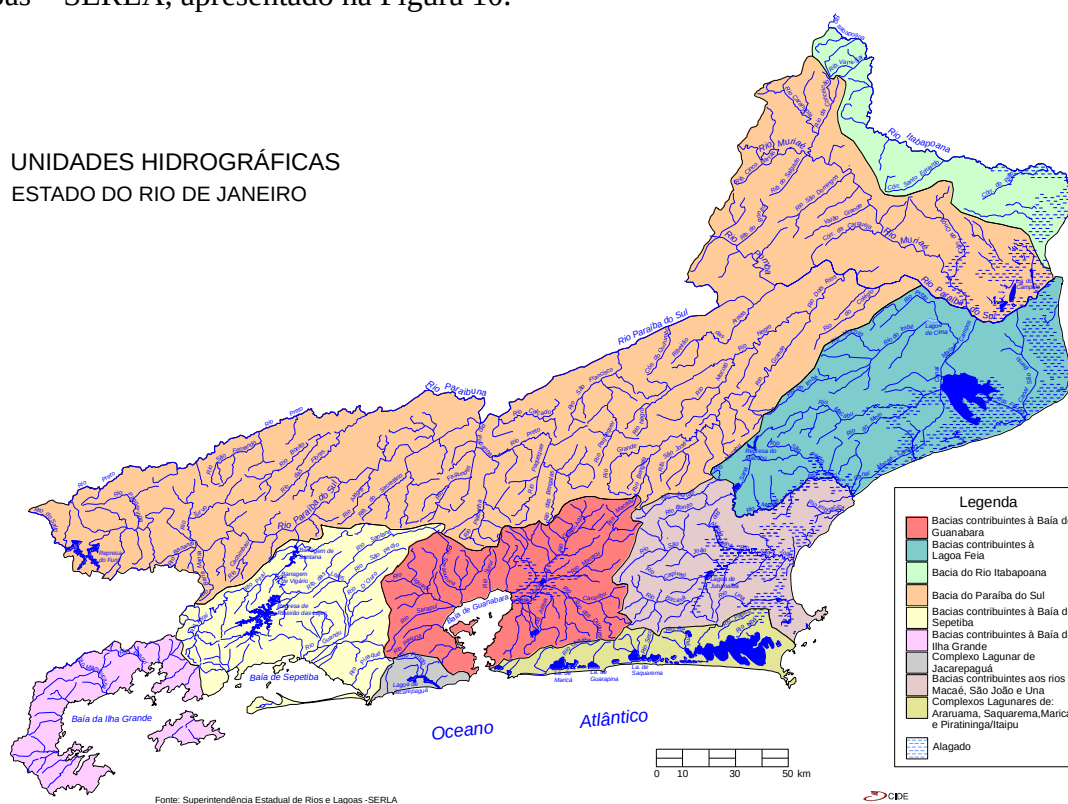


Figura 10: Unidades hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SERLA 1995).

Com isso divide-se o litoral num trecho oriental (ou Litoral Norte) e num outro trecho denominado Litoral Sul.

O trecho oriental, que corresponde à Bacia de Campos, compreende os seguintes compartimentos: (1) entre a foz do rio Itabapoana e o rio Paraíba do Sul, (2) a planície costeira entre a foz do rio Paraíba do Sul e o rio Macaé, incluindo o Cabo de São Tomé, onde a costa muda sua orientação geral, (3) o embaçamento do rio São João que se estende de Macaé até Buzios, e (4) o embaimento de cabo Frio entre Búzios e a Ilha de Cabo Frio. O primeiro compartimento até o cabo de São Tomé, a costa é orientada na direção Norte-Sul. A partir daí até o cabo Frio, a costa está alinhada na direção Nordeste-Sudoeste. Esta mudança morfológica traz consequências importantes para os processos dinâmicos induzidos pelas ondas, como será discutido mais adiante. De fato, ao Norte do cabo de São Tomé o transporte litorâneo de sedimentos é direcionado para Sul, enquanto que no compartimento ao Sul do Cabo, o transporte é direcionado para Norte, o que torna o cabo de São Tomé um local de grande deposição de sedimentos.

A Ilha de Cabo Frio é um marco no litoral do Estado. A partir daí até a Ponta Trindade (limite dom São Paulo) o litoral assume a orientação geral Leste-Oeste estando portanto sujeita a um clima de ondas distinto daquele que vigora no trecho Norte-oriental. Nesse segmento, aqui denominado Litoral Sul, salientam-se os seguintes compartimentos: (5) Região dos Lagos – entre Arraial do Cabo e Niterói, (6) Baía de Guanabara que compreende todos os municípios da baixada, (7) Jacarepaguá que se estende de Ipanema à Pedra de Guaratiba, (8) Baía de Sepetiba, compreendendo a Ilha da Marambaia e orla da baía de Sepetiba; (9) Ilha Grande que compreende orlas e ilhas desde a Ilha da Marambaia até a Ponta Trindade.

4.1.1. Compartimento entre os rios Itabapoana e Paraíba do Sul

Da foz do rio Itabapoana até a foz do rio Paraíba do Sul, a costa está alinhada na direção geral Norte-Sul e apresenta-se com formações de falésias vivas do Grupo Barreiras. Com a ausência de planície costeira ou cordões litorâneos significativos, a ação marinha através do ataque de ondas esculpi as escarpas do Barreiras formando pináculos e embaixamentos recentes como ilustrado nas imagens da Figura 11.



Figura 11: Ponta do Retiro. Falésia, pináculo e testemunho de recuo da linha de costa. (Fonte: MUEHE, 2006)

A drenagem que atinge o litoral, entalhada no Barreiras, é de pouca expressão, com isso a plataforma continental interna é essencialmente afetada pelos aportes de água e de sedimentos oriundos rios Itabapoana (com descarga média anual da ordem de $60 \text{ m}^3/\text{s}$) e Paraíba do Sul ($670 \text{ m}^3/\text{s}$). Os sedimentos oriundos desse aporte são retrabalhados pelas ondas num regime sujeito a alternâncias entre condições de tempo bom, com ventos e ondas de nordeste, e de tempestade, com ventos e ondas do quadrante sul. A ocorrência de lamas fluviais neste compartimento, estendendo-se até um pouco a sul da desembocadura do rio Paraíba do Sul, conforme compilação de KOWSMANN & COSTA (1979), confirma esta interpretação.¹

Esse segmento de litoral, entre as desembocaduras dos rios Itabapoana e Paraíba do Sul constitui o trecho com a menor demanda social do Estado, pois apresenta o menor índice de ocupação populacional por extensão de linha de costa, conforme o índice proposto por MUEHE & NEVES (1995).

4.1.2. Planície Costeira entre a foz do rio Paraíba do Sul e o rio Macaé

A planície costeira em torno do rio Paraíba do Sul é constituída por uma seqüência de cordões litorâneos, que vão sendo gradualmente anexados à costa, deixando visíveis relíquias de lagoas e canais intermediários (vide Figura 12).

Neste segmento encontra-se o Cabo de São Tomé, uma formação arenosa, que suavemente redireciona a linha de costa de Norte-Sul para Nordeste-Sudoeste. É uma área de intensa acumulação de areia, oriunda dos dois trechos de costa em direção ao cabo, onde extensos bancos de areia submersos estão localizados. Dada sua localização privilegiada, sujeita ao ataque de ondas oriundas tanto do setor Nordeste como de Sudeste, o transporte de sedimentos promovido por ondas, independentemente da época do ano, converge para o cabo. Por essa razão há um enorme banco de areia submerso ao lago do Cabo de São Tomé, claramente anotado em qualquer carta náutica dessa região, qualquer que seja a escala gráfica usada. Na Figura 13 esse detalhe pode ser observado.

¹ Apesar das evidências obtidas na análise morfológica, um levantamento detalhado do recobrimento e do transporte sedimentar da plataforma continental interna nesta área ainda precisa ser feita.

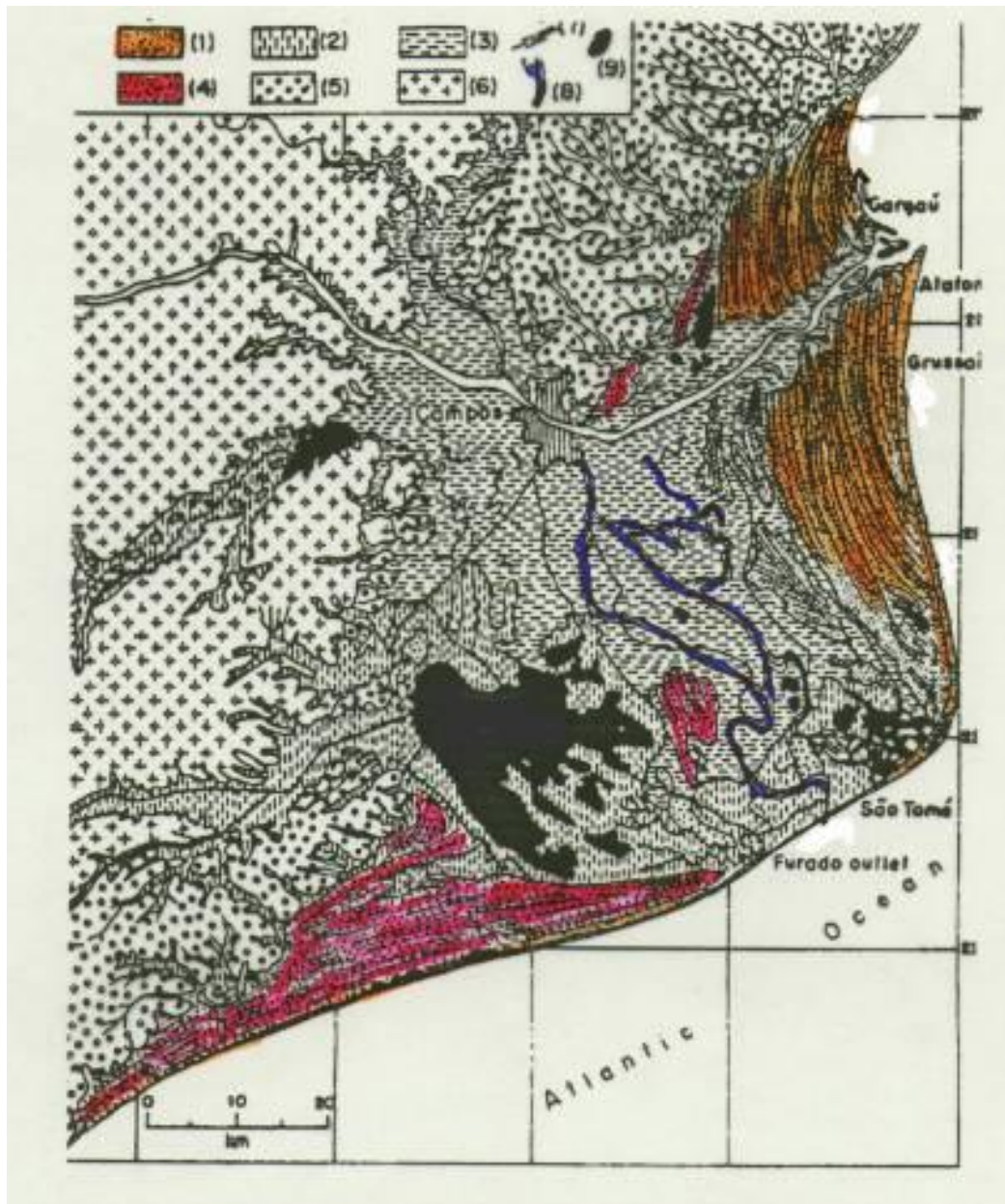


Figura 12: Planície costeira do rio Paraíba do Sul. Em vermelho, depósitos pleistocênicos em forma de cristas de praia e em amarelo depósitos holocênicos. Paleocanais estão representados em azul. (Fonte: MUEHE & VALENTINI, 1998).

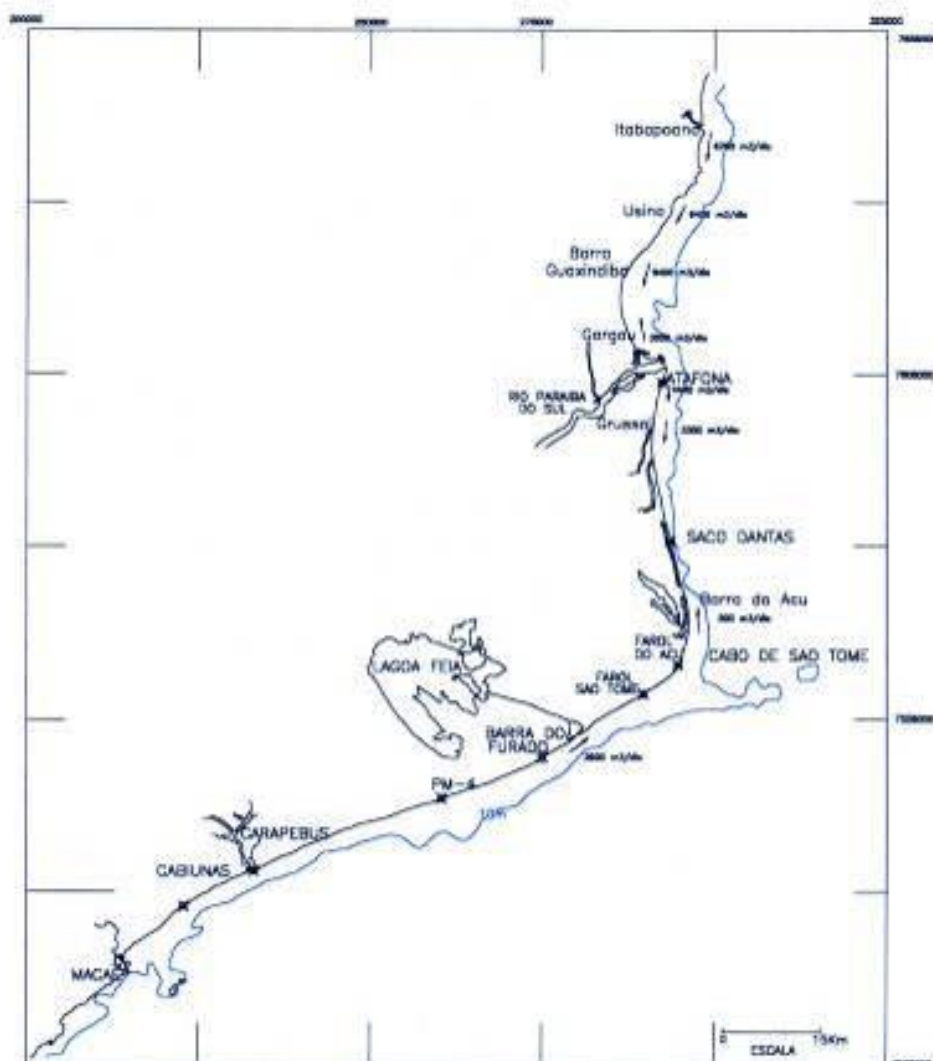


Figura 13: Detalhes do litoral oriental do Estado do Rio de Janeiro. Contorno da linha de costa e indicação das localidades. Linha batimétrica de 10m salientando o banco submarino ao largo do Cabo de São Tomé. Sentido do transporte litorâneo segundo CASSAR & NEVES (1993). Figura reproduzida de BASTOS (1997).

A alternância do clima de ondas nessa região faz com que o litoral seja atacado por ondas ora provenientes de Nordeste e ora de Sudeste, o que resulta num transporte sólido ao longo da costa que se manifesta em sentidos opostos dependendo da época do ano (vide item 4.3.). Isto é, quando há incidência de ondas, inclinadas em relação à linha de costa, vindas da direita de um observador que olha da costa para o mar, esse ataque vai resultar num transporte sólido no sentido da direita para a esquerda; já no caso de incidência de ondas provenientes da esquerda de quem olha para o mar, o transporte se dá da esquerda para a direita.

Considerando as características do clima de ondas nessa região, CASSAR & NEVES (1993) estimaram as capacidades de transporte sólido das ondas ao longo desse trecho de litoral e os resultados, em termos de m^3 /dia médio por período (anual e sazonal), para algumas localida-

des (indicadas na Figura 14), estão apresentados na Tabela 2. Nessa tabela, seguindo a convenção, os valores expressos em números positivos representam a vazão sólida que se dá para a direita (de quem olha para o mar) e os números negativos indicam aquela que segue para a esquerda. O sentido desse transporte está sinalizado através de setas ao longo da costa na Figura 14.

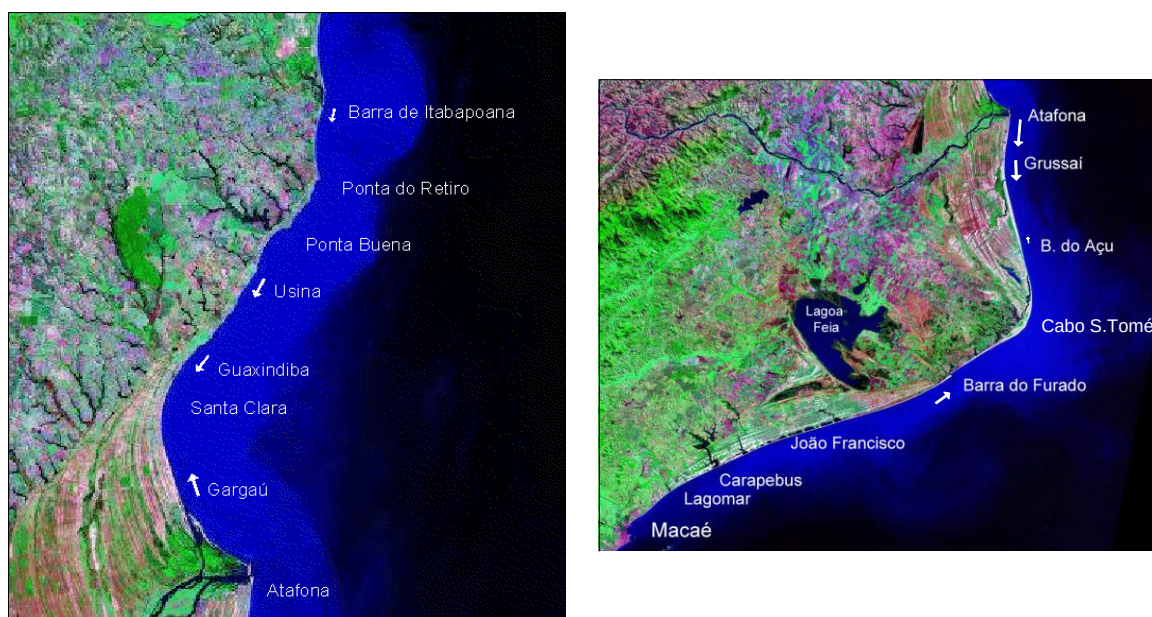


Figura 14: Visualização de feições do litoral oriental do Estado do Rio de Janeiro e indicação de localidades citadas. As setas indicam o sentido resultante do transporte sólido promovido por ondas ao longo da costa.

Considerando o balanço anual, os resultados apresentados na Tabela 2 (e ilustrados na Figura 14) indicam que o Cabo de São Tomé é de fato um ponto natural de convergência de sedimentos por ação da deriva costeira nessa região. Os resultados também indicam uma tendência de assoreamento no embaçamento de Santa Clara, entre Guaxindiba e Gargaú.

Problemas erosivos significativos têm ocorrido na praia de Atafona (vide Figura 14), junto à foz do rio Paraíba do Sul. BASTOS (1997), comparando fotos aéreas de 1976 com a posição da linha de costa levantada por meio de GPS em 1996, determinou uma taxa de retrogradação de 7,5 m/ano. As razões desta erosão localizada não estão totalmente esclarecidas, mas a redução das descargas fluviais líquidas e sólidas, principalmente após à derivação das águas para o sistema Lajes-Guandu na Barragem de Santa Cecília localizada 382km a montante da desembocadura, alterou a interação entre o rio e o oceano modificando a direção e intensidade dos processos atuantes sobre a linha de praia (COSTA & NEVES 1993; COSTA 1994).

Não obstante à maior frequência dos ventos de nordeste e, conseqüentemente das ondas oriundas desse setor, o transporte litorâneo, no flanco sul da planície do Paraíba do Sul é orientado para o norte (vide Tabela 2 e GUSMÃO, 1990; CASSAR & NEVES, 1993). Isso se dá em virtude da maior capacidade de transporte das ondas provenientes de sudeste, geradas pelas frentes frias ou as que chegam na forma de marulho, oriundas das latitudes mais elevadas

do sul. Isto se torna bem visível na acumulação de sedimentos a sul dos guias-correntes construídos com a intenção de manter aberto o canal do Furado, e a conseqüente erosão, a norte, por efeito da retenção destes sedimentos, como ilustrado na Figura 15.

Tabela 2: Estimativa do transporte de sedimentos devido às ondas ao longo da linha de costa. Valores médios expressos em m³/dia. (Fonte: CASAR & NEVES, 1993).

Localidade	Anual m ³ /dia	Outono m ³ /dia	Inverno m ³ /dia	Primavera m ³ /dia	Verão m ³ /dia
Itabapoana	+6.700	+4.200	+7.100	+6.400	+9.300
Guaxindiba	+9.400	+6.900	+8.300	+13.500	+0.100
Gargaú	-3.000	-2.600	-2.600	-1.300	+0.100
Atafona	+4.400	+2.900	+2.900	+4.200	+5.000
Grussaí	+3.300	+1.900	+1.900	+3.300	+4.400
B do Açú	-0.500	-1.200	-1.200	nulo	+0.400
B Furado	-2.900	-4.400	-4.400	-6.000	+0.400

A seqüência de fotos mostrada na Figura 15 também ilustra a situação que se depara quando o transporte longitudinal é interrompido por ação antrópica sem que o balanço sedimentológico seja respeitado. No caso da Barra do Furado, como o transporte residual de sedimentos se dá de sul para norte, a construção dos guias-correntes deveria ter sido acompanhada de um sistema de transpasse de sedimentos no sentido de prover sedimentos para a costa de sotamar (no caso o trecho ao norte da estrutura) evitando com isso a erosão que aí se instalou e alterou as feições originais da linha de costa e chegando ao ponto de inviabilizar o uso primordial das benfeitorias realizadas que consistia numa via segura de navegação para o interior do canal das Flechas (VALENTINI & MUEHE, 2000).

Não obstante os problemas de erosão localizada que se verifica em alguns trechos, a maior parte das praias da frente oceânica da planície costeira se apresentam estáveis, conforme indicam os resultados de estudos realizados por BASTOS (1997) e MUEHE (1998). Com granulometria grossa, forte gradiente da face da praia e praticamente ausência de uma zona de surfe, as praias tendem ao estado morfodinâmico refletivo que se caracteriza por grande estabilidade do perfil transversal. Observações sistemáticas de perfil de praia realizadas pelo período de dois anos na praia de Lagomar (a norte de Macaé) comprovam essa estabilidade morfológica ao longo do tempo, como mostra a superposição de perfis da Figura 16, onde se verifica a reduzida variabilidade topográfica que, mesmo sob condições de forte tempestade, como a de junho de 1997, não alterou substancialmente o perfil que chegou a acumular sedimentos, numa reação contrária ao que ocorreu nas praias orientadas para o sul, como as localizadas a oeste do cabo Frio.



Figura 15: Seqüência de fotos ilustrando a evolução do litoral em torno da Barra do Furado. Da direita para a esquerda e de cima para baixo: Durante as obras de construção dos guias-correntes, seqüência de fotos ao longo do tempo mostrando a evolução da linha de costa após a implantação da estrutura.

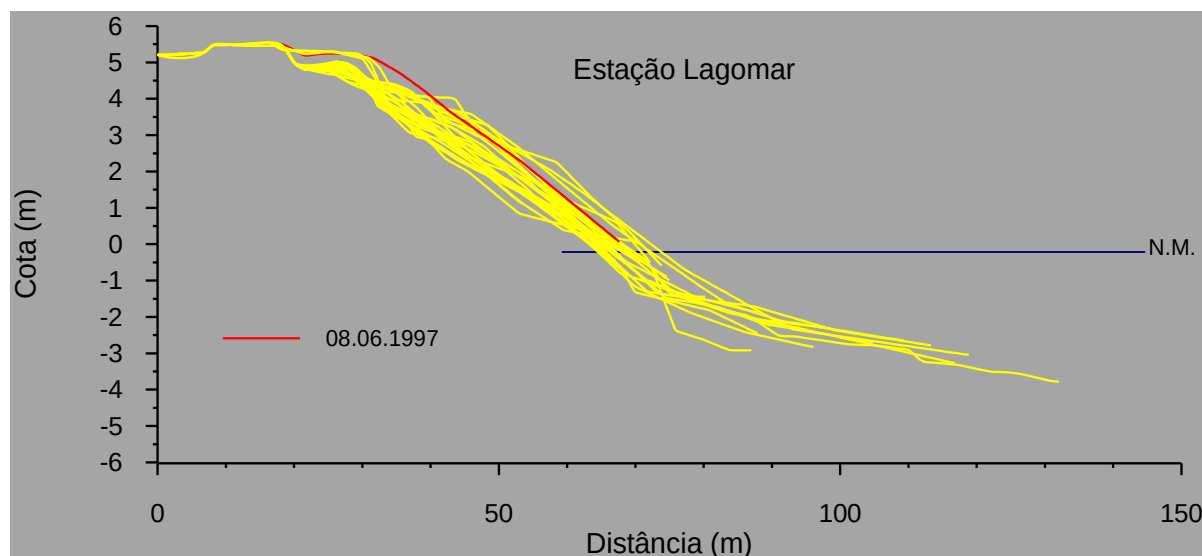


Figura 16: Superposição de perfis de praia mostrando pequena variabilidade topográfica em Lagomar (Macaé). O perfil em vermelho mostra os efeitos da forte tempestade de junho de 1997 que provocou a acumulação de sedimentos. (Fonte: MUEHE 1998c).

Ao sul da Barra do Furado (canal das Flechas) até a foz do rio São João, a costa apresenta uma série de lagunas (Quissamã, Carapebus, Cabiúnas, Imboacica, etc.), separadas do mar por cordões arenosos que são rompidos, natural ou artificialmente, quando o nível das lagunas se eleva demasiadamente. Do conjunto de lagunas represadas à retaguarda do cordão litorâneo holocênico, os estudos têm se concentrado nas lagunas de Cabiunas, Comprida e Carapebus. Destas, a de Carapebus recebe efluentes domésticos e industriais sem qualquer tratamento além de afluentes que atravessam extensas áreas agrícolas, basicamente plantações de cana de açúcar e algumas áreas de pastagem (PANOSSO *et al.* 1998). No restante das lagunas o impacto ambiental é pequeno, sendo o lençol freático a principal fonte potencial de contaminação, já que a ocupação da planície é pequena.

4.1.3. Embaimento do rio São João

Ao sul do rio Macaé até o cabo Búzios tem-se o embaimento do rio São João (vide Figura 17) que recebe as contribuições dos rios Macaé, das Ostras, São João e Una. Destes, o Macaé e o São João são os únicos de alguma expressão. Esse trecho de costa é constituído por longos arcos de praia interrompidos por afloramentos do embasamento cristalino. As praias as mais expressivas são as de Imbetiba, junto ao porto em Macaé e desfigurada pela construção de um conjunto de espigões inadequadamente ali instalados, Campista e Cavaleiros, e Mar do Norte, inserida entre dois promontórios rochosos, já no Município de Rio das Ostras. À retaguarda da praia dos Cavaleiros se localiza a laguna de Imbetiba que se encontra impactada pelo lançamento de efluentes domésticos e cuja renovação das águas somente ocorre por ocasião da abertura artificial do canal de maré. Como em praticamente todas as lagunas do litoral do estado esses canais de maré não se mantêm abertos naturalmente havendo necessidade de um monitoramento das principais lagunas para a definição de um plano de abertura da barra que considere o conjunto de aspectos associados, como a manutenção de um nível da água abaixo de uma altura crítica para os moradores do entorno lagunar, a renovação da fauna e os níveis de eutrofização e contaminação das águas.



Figura 17: Compartimento Macaé ao cabo Búzios ².

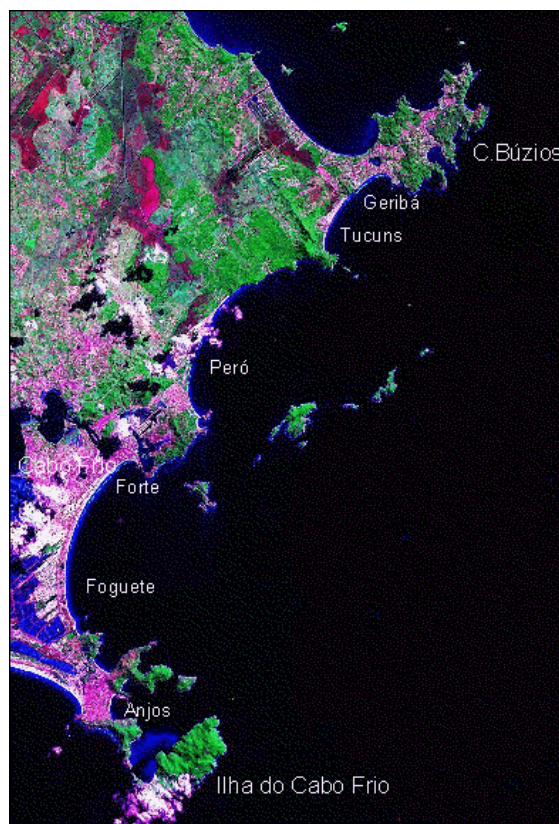


Figura 18: Compartimento cabo Búzios ao cabo Frio.

4.1.4. Embaiamento de Cabo Frio

Ao sul do rio São João e do rio Una, encontra-se uma região de costa lamosa, à sombra das ondas de tempestade vindas de quadrante Sul pelos promontórios de Armação de Búzios. O trecho de costa entre Búzios e o cabo Frio (Arraial do Cabo) apresenta uma seqüência de praias de enseada, delimitadas por pontas rochosas, e formação de dunas, alinhadas com o vento predominante de Nordeste (vide Figura 18). Este compartimento se caracteriza pela ausência de desembocaduras fluviais, constituindo o canal de Itajuru a única via de troca de água entre o oceano e o continente, na caso a ligação com a laguna de Araruama. Não obstante a plataforma continental interna é recoberta, em grande parte, por uma estreita faixa de lama que se estende, nas proximidades da isóbata de 20 m, entre Macaé e o embaiamento Búzios-cabo Frio. Garrafas de deriva, lançadas de plataformas de petróleo, apresentaram tendência de convergir em direção a esse embaiamento, o que levou SAAVEDRA & MUEHE (1993) a relacionar a origem destas lamas ao rio Paraíba do Sul. Esta direção preferencial de transporte também explica a freqüente contaminação com óleo nas praias desse setor. Entretanto é importante assinalar que lançamentos efetuados no inverno mostraram transporte residual para norte.

² Observar as manchas em azul claro indicando transporte de material em suspensão em direção ao sul.

4.1.5. Região dos Lagos

Do Cabo Frio até a Ilha de Marambaia, a costa assume a direção Leste-Oeste e caracteriza-se por cordões duplos de restinga, o mais recuado a cerca de 7m acima do nível do mar (associado à transgressão marinha de 120.000 atrás) e o mais frontal ao mar, com cerca de 5m acima do nível do mar, correspondendo a um período de 5.000 anos atrás. Há uma série de lagunas costeiras (Araruama, Saquarema, Jaconé, sistema Maricá, Itaipu, Piratininga, Rodrigo de Freitas, Jacarepaguá, Marapendi). Neste trecho de costa localizam-se duas macro-regiões importantes do Estado: a Região dos Lagos e a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, no entorno da baía de Guanabara.

A Região dos Lagos é caracterizada por um expressivo conjunto de lagunas, cuja presença motivou sua denominação, que a partir da lagoa de Maricá, para o leste desse compartimento, se desenvolveu à retaguarda dos cordões litorâneos. As maiores, à retaguarda do cordão litorâneo mais interiorizado, como a de Araruama, Jacarepiá, Saquarema, Jaconé, Guarapina, Padre, o sistema Maricá-Guarapina, que compreende as lagunas de Maricá, Barra, Guaratiba, Padre e Guarapina e as lagunas de Itaipu e Piratininga; as menores ficam comprimidas entre o reverso do cordão frontal e a frente do cordão mais interiorizado, completamente isoladas de qualquer aporte fluvial, como a Pernambuco e a Vermelha. Nenhuma abertura natural permite que embarcações encontrem áreas abrigadas neste trecho da costa.

Entre as lagunas, a maior é a de Araruama, com cerca de 200 km² e, por sua posição no trecho de maior déficit hídrico, reduzida bacia de drenagem (350 km²) e longo tempo de renovação de suas águas [meio-tempo de residência $T_{50} = 83,5$ dias] é a maior laguna hipersalina do país. Entretanto sua salinidade decresceu de 57 para 52 entre 1965 e 1990, devido, principalmente, ao aporte de águas servidas provenientes do abastecimento da região com água bombeada do reservatório de Juturnaíba a uma taxa de 1 m³s⁻¹ (KJERFVE *et al.*, 1996). Sua ligação com o mar é feita através do canal de Itajuru, que se mantém aberto por estar, sua desembocadura, localizada entre afloramentos rochosos, portanto estável. A troca de água através deste canal é muito pequena, sendo a onda de maré atenuada para praticamente zero antes de atingir a laguna propriamente dita (LESSA 1989, 1990). A elevada salinidade age como inibidor do desenvolvimento de *blooms* eutróficos, uma característica que a abertura de um planejado canal artificial poderia modificar (KJERFVE *et al.* 1996). Características hidrológicas e morfológicas das principais lagunas do compartimento Região dos Lagos estão apresentadas abaixo na Tabela 3.

Tabela 3: Características hidrológicas e morfológicas das principais lagunas do compartimento Região dos Lagos segundo KJERFVE *et al.* 1996.

Laguna	A_t (km ²)	A_b (km ²)	h_m (m)	V (km ³)	AM_m (cm)	P (m)	E (m)	$\Delta f/r$	S	$T_{50\%}$ (dia)
Araruama	275	285	2,9	0,018	1	0,9	1,4	0,11	52	84
Vermelha	3	10	1	0,003	0	0,9	1,4	0,11	100	194
Jaconé	4	29	1	0,004	1	1,3	1,3	0,2	5	25
Guarapina	7	70	1,0	0,007	3	1,3	1,3	0,2	7	7
Padre	3	10	0,6	0,002	1	1,3	1,3	0,2	3	5
Barra	9	55	1,4	0,013	1	1,3	1,3	0,2	1	22
Maricá	17	215	1,4	0,024	1	1,3	1,3	0,2	0	30
Itaipu	2	23	1,2	0,002	30	1,4	1,3	0,2	30	1
Piratininga	3	22	0,9	0,002	2	1,4	1,3	0,2	3	13

Legenda: A_t = área da laguna; A_b = área da bacia de drenagem; h_m = profundidade média; V = volume de água; AM_m = amplitude média da maré; P = precipitação anual; E = evaporação anual; $\Delta f/r$ = taxa de escoamento anual da bacia de drenagem; S = salinidade; $T_{50\%}$ = meio-tempo de residência.

Nota: A tabela acima contém dados genéricos que não devem ser usados sem crítica prévia. Para uma análise quantitativa, os dados devem ser revistos criteriosamente, pois há valores claramente incorretos. Exemplos: 1. A bacia hidrográfica da Lagoa de Araruama está errada, pois só as áreas das sub-bacias dos principais rios contribuintes somam cerca de 430 km². 2. O $T_{50\%}$ da lagoa de Araruama é muito superior a 84 dias, caso contrário a lagoa não seria hipersalina. 3. As amplitudes de maré em Araruama variam consideravelmente em diferentes compartimentos, e.g., no compartimento denominado lagoa das Palmeiras chega a mais de 20 cm.

Outra característica importante dessa região é uma paisagem costeira marcada pela presença de extensos arcos praias, associados a cordões litorâneos (*beach barriers*) que, freqüentemente, ocorrem em forma de duplos cordões, dispostos paralelamente entre si e separados por uma depressão estreita. Estes cordões imprimiram o aspecto retificado a todo este litoral que, entre o cabo Frio e a baía de Guanabara formam uma linha quase contínua (vide Figura 19), apenas interrompida pelos promontórios rochosos que separam as diversas baixadas costeiras.

Ao contrário do modelo de evolução dos cordões litorâneos, inicialmente suposto como sendo por crescimento, de oeste para leste, na forma de um pontal (LAMEGO, 1940, 1945), a interpretação feita por MUEHE & CORRÊA (1989) foi a de migração desses cordões em direção ao continente, até sua posição atual, em consonância com a elevação do nível do mar, estando o cordão mais interiorizado associado à última transgressão pleistocênica (MARTIN & SUGUIO, 1989; MUEHE, 1994), e o cordão frontal à transgressão pós-glacial. Este processo de retrogradação parece ainda afetar os cordões litorâneos frontais que, em muitos pontos são transpostos pelas ondas de tempestade (*overwash*). Arenitos de praia submersos, defronte às praias da Massambaba, Jacomé e Itaipuaçu (MUEHE & IGNARRA, 1984) e Jacarepaguá (GORINI & MUEHE, 1971; MACEDO, 1971), de idade ainda não determinada, comprovam o processo de retrogradação, e sugerem, para os casos em que os mesmos afloram na base da

face da praia, como em Jaconé, a continuidade deste processo, implicando em instabilidade potencial da linha de costa.

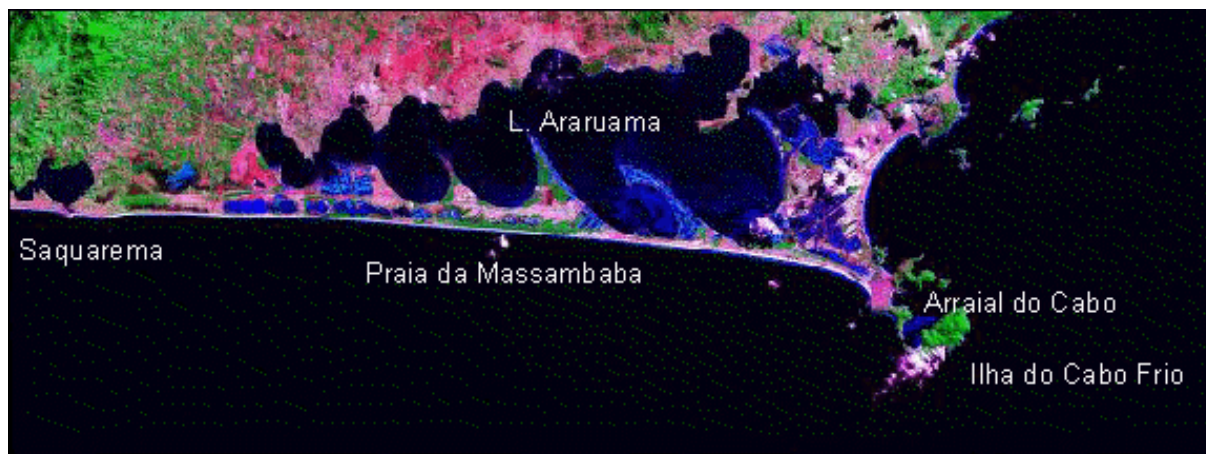


Figura 19: Trecho oriental do compartimento, com a laguna de Araruama, os duplos cordões litorâneos, as lagoas intercordões e a praia oceânica da Massambaba, mostrando o caráter retificado deste litoral. Na extremidade esquerda a laguna de Saquarema.

A alta mobilidade desse trecho de costa pode ser visualizada através da Figura 20 que mostra a superposição dos perfis de praia levantados em campanhas mensais durante 28 meses, em duas posições da praia da Massambaba (Leste e Oeste), indicando grande variabilidade topográfica (vide curvas em amarelo). Os efeitos de uma tempestade excepcional (representada em vermelho) que levou à destruição de quiosques construídos próximo ao limite interno da berma de tempestade que se vinha mantendo estável durante anos. As curvas em verde e azul indicam, respectivamente, os perfis antes e depois da tempestade.

Um aspecto peculiar, resultante da orientação deste compartimento, e que se manifesta nas proximidades de Arraial do Cabo, é o predomínio do transporte eólico em direção ao mar, decorrente da ação do vento nordeste. Como consequência as dunas frontais, localizadas imediatamente à retaguarda da praia, e que constituem uma reserva de sedimentos para atenuação de processos erosivos, estão sujeitos a perdas significativas de material, como mostra o balanço de volumes medidos entre abril de 1996 a maio de 1998 reproduzido na Figura 21 (MUEHE, 2006).

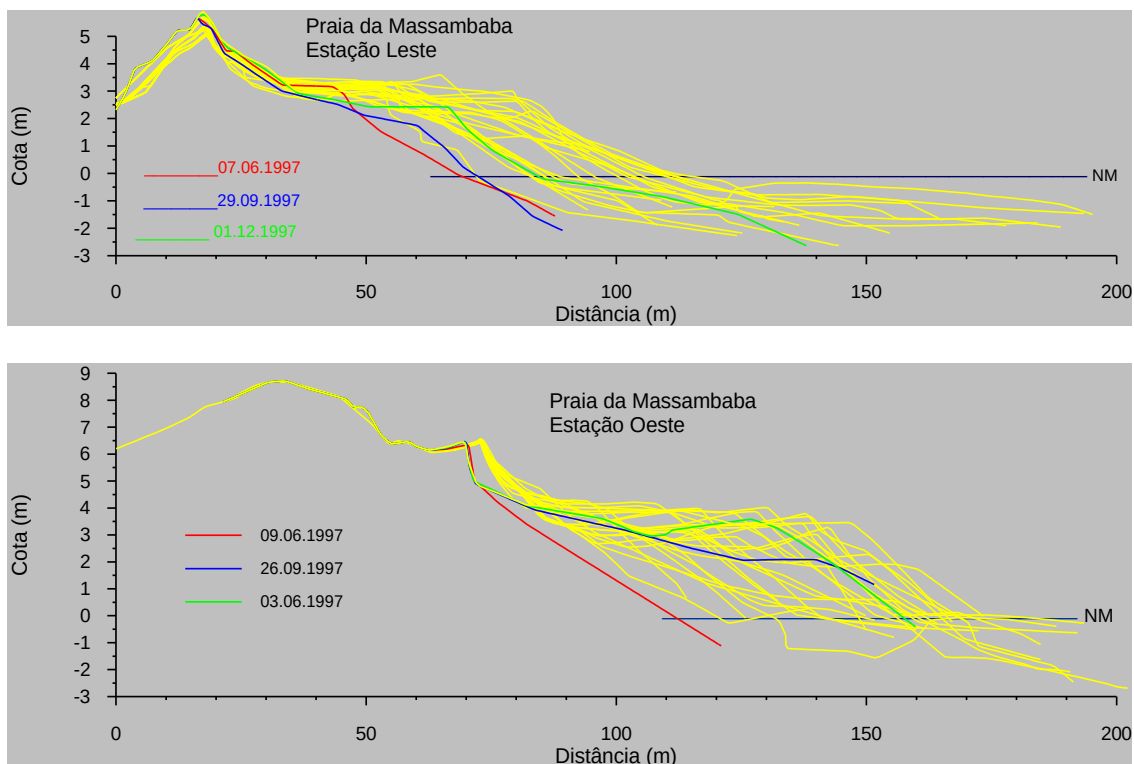


Figura 20: Superposição de perfis de praia (em amarelo) mostrando grande variabilidade topográfica na praia de Massambaba. O perfil em verde mostra as feições anteriores a ocorrência de uma forte ressaca, representada em vermelho, e o perfil em azul a recuperação da praia nos meses seguintes (Fonte: MUEHE 1998c).

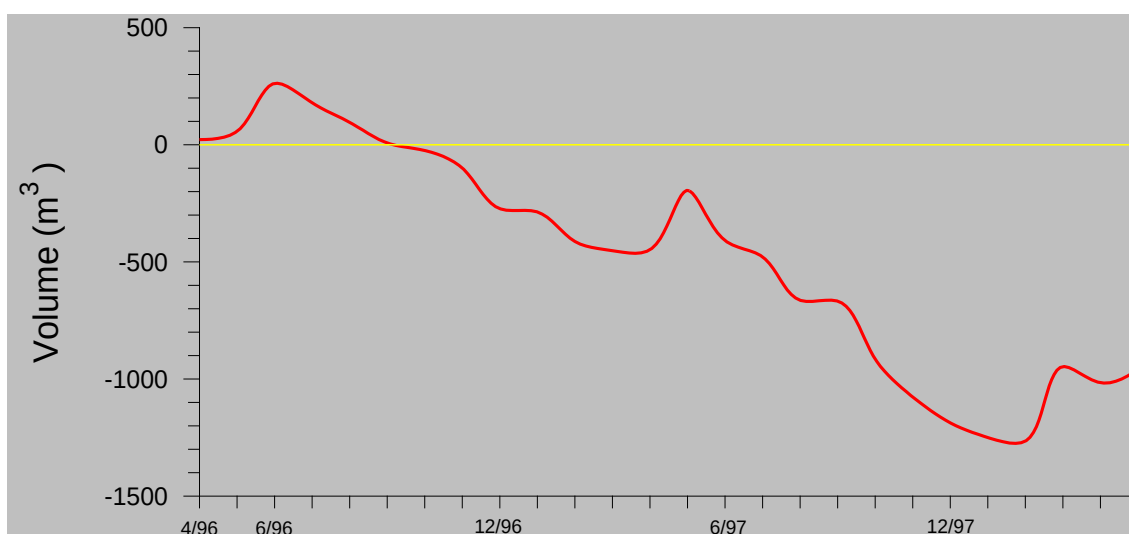


Figura 21: Evolução do balanço sedimentar em dunas frontais na Massambaba no período de abril de 1996 a maio de 1998 (Fonte: MUEHE & VALENTINI, 1998).

4.1.6. Baía de Guanabara

A baía de Guanabara, tal como se apresenta hoje, é resultado do afogamento, pela transgressão holocênica, dos baixos cursos desta rede de drenagem cujos talwegues podem ainda ser identificados pelas indentações das curvas batimétricas da baía (RUELLAN, 1944). Com uma superfície de 384 km² da qual 56 km² ocupada por ilhas, a baía apresenta uma superfície de água da ordem de 328 km² e um volume médio de água de 1,87 x 10⁹ m³. A bacia de drenagem abrange uma área de 4.080 km², é composta por 32 sub-bacias, sendo drenada por 45 rios e canais. Destes, apenas seis respondem por 85% da descarga média anual de 100 m³s⁻¹. A taxa média mensal de aporte de água doce foi calculada por KJERFVE *et al.* (1997) em 100 m³s⁻¹, incluindo 25 m³s⁻¹ de descarga doméstica oriunda do abastecimento de água domiciliar oriunda de bombeamento do rio Paraíba do Sul, com valores variando entre um mínimo de 33 m³s⁻¹ em julho e um máximo de 186 m³s⁻¹ em janeiro (vide Figura 22). É interessante observar que, nos meses de junho, julho e agosto, mais de 50% do aporte de água doce resulta de água proveniente do rio Paraíba do Sul, ou seja: água servida.

O aporte de sedimentos, e seu incremento em função de desmatamentos e retificação de canais fluviais, tem provocado um substancial aumento na taxa média de assoreamento. Não obstante, quando analisadas espacialmente, esta tendência apresenta ampla variação incluindo eventos erosivos localizados conforme mostrado por OLIVEIRA (1996) e reproduzido na Tabela 4.

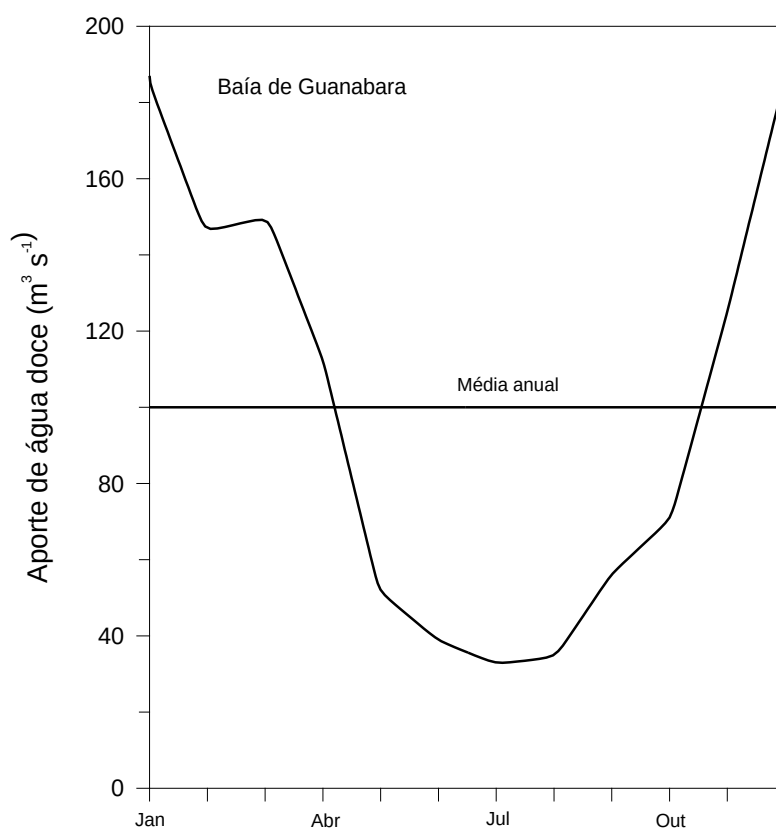


Figura 22: Aporte médio mensal de água doce na baía de Guanabara segundo KJERFVE *et al.* (1997).

Tabela 4: Taxas de deposição/erosão (segundo OLIVEIRA, 1996).

Setor	Período	Taxa (m/século) Deposição / Erosão
Fundo	1810 - 1922	+2,1 / -1,2
	1922 – 1959	+7,8 / -1,3
Intermediário	1849 - 1922	+3,5 / -3,0
	1938 – 1962	+1,3 / -9,0
Entrada	1849 –1922	+6,9 / -2,0
	1938 - 1962	+18,9 / -6,2

O tempo médio de renovação de 50% da água da baía é de apenas de 11,4 dias (KJERFVE *et al.* 1997), o que explica a qualidade relativamente boa da água na metade distal da baía. Para o interior o maior aporte de poluentes, principalmente na metade oeste da baía (MAYR *et al.* 1989), cria zonas altamente poluídas apresentando elevados teores de compostos de fósforo e nitrogênio, elevadas concentrações de clorofila *a* e coliformes fecais, assim como baixas concentrações de oxigênio dissolvido. As condições anóxicas das áreas do interior da baía favoreceram a incorporação de elevados níveis de metais pesados nos sedimentos, cuja exposição a condições oxidantes, por exemplo em decorrência de dragagens, deverá levar à liberação desses metais e sua incorporação na cadeia elementar (CAÇÔNIA, 1984; LACERDA *et al.* 1988; BARROCAS, 1994 *apud* KJERFVE *et al.* 1997).

A baía de Guanabara constitui um ambiente profundamente modificado pela urbanização e sucessivos aterros desde o século XIX, mas que ainda guarda uma importante reserva biológica, o manguezal de Guapi-Mirim.

No interior da baía efeitos de ondas de tempestade sobre as praias se fazem sentir esporadicamente na enseada do Flamengo e Botafogo e na orla de Ingá e Icaraí em Niterói. Na Ilha do Governador a orla voltada para Leste está sujeita a ação de ondas geradas localmente pelo vento Nordeste associado a um empilhamento de água que pode inundar a berma da praia. Em geral porem o interior da baía é protegido, principalmente da ação de ondas de tempestade vindas de Sudoeste.

Já nas praias oceânicas a ação de ondas de tempestades é completamente livre. Naquelas onde o estoque de sedimentos (areia) é suficientemente grande, a tempestade é dissipada através da energia consumida no transporte sólido, resultando num perfil de praia redesenhado em função dos níveis de energia vigentes. Entretanto a maioria das praias oceânicas das regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e Niterói são demasiadamente impactadas pela ação da urbanização. Via de regra há na orla uma avenida beira-mar “protegida” por um muro (de contenção do aterro da via). Essa estrutura pelo fato de ser rígida e vertical, quando submetida ao ataque direto de ondas reflete a energia incidente ao invés de dissipá-la. Como consequência surgem escoriações no sopé da estrutura e migração de material a partir do prisma praia emerso para bancos submersos. Como resultado tem-se praias erodidas e estruturas danificadas, cenas essas muito corriqueiras na orla oceânica desse trecho de litoral. As imagens apresentadas na

Figura 23 ilustram essa situação na praia de Piratininga em Niterói, e as da Figura 24 para a praia de Ipanema no Rio de Janeiro.



Figura 23: Imagens do efeito de ressaca na praia de Piratininga, Niterói, RJ.



Figura 24: Imagens do efeito de ressaca na praia de Ipanema, Rio de Janeiro, RJ.

4.1.7. Baixada de Jacarepaguá

A oeste da embocadura da baía de Guanabara o litoral tem feições semelhantes às aquelas encontradas no trecho a leste dessa foz. Caracteriza-se pela presença de cordões litorâneos, represando à sua retaguarda lagunas, como a Rodrigo de Freitas, no Leblon, assim como a lagoa de Marapendi e o sistema lagunar interligado de Jacarepaguá-Camoçim-Tijuca, em Jacarepaguá. Este último sub-compartimento, limitado a leste pelo maciço da Tijuca a noroeste pelo Maciço da Pedra Branca e a oeste pela serra de Guaratiba (extensão residual do Maciço da Pedra Branca, é caracterizado por uma ampla planície costeira, com cerca de 130 km² de área (MARQUES, 1987), represada por um sistema de duplos cordões litorâneos, com cerca de 18 km de extensão (vide Figura 25), precedidos por afloramentos residuais de arenitos de praia submersos (MAIA *et al.* 1984), provavelmente testemunhos de antigas posições do cordão frontal, holocênico.

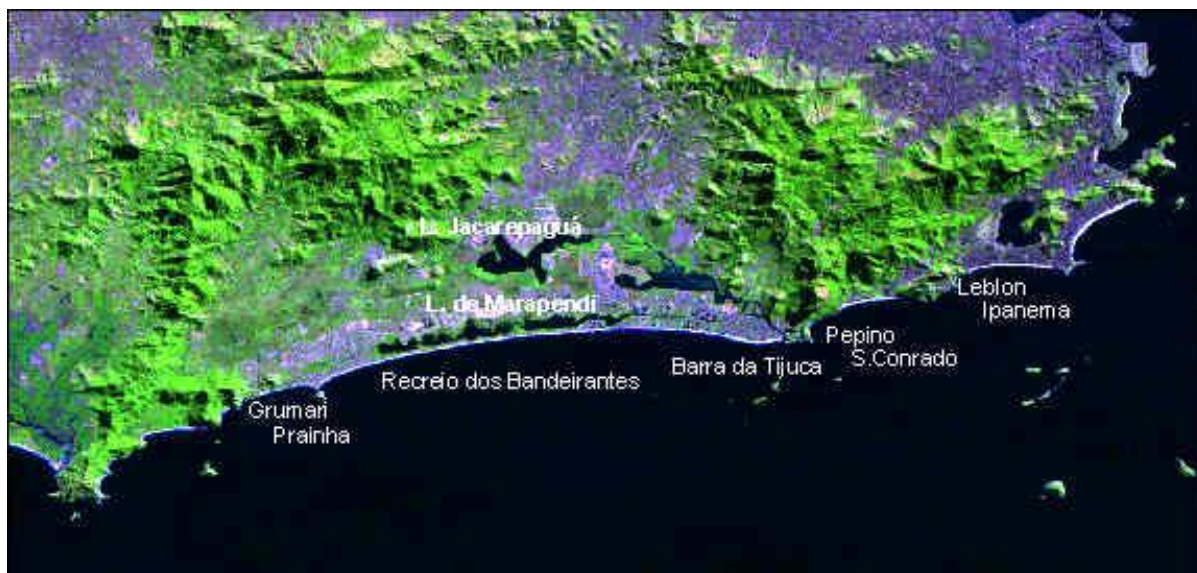


Figura 25: Baixada de Jacarepaguá, vendo-se em posição mais interiorizada o complexo lagunar Jacarepaguá-Camoçim-Tijuca e à frente a laguna de Marapendi.

A laguna de Marapendi se localiza entre os dois cordões litorâneos, não recebendo, assim, aporte de água doce e sedimentos provenientes da rede fluvial. Sua ligação com o mar se faz através de canais, abertos nas áreas colmatadas, antes ocupadas pela laguna, e que se ligam, a leste ao canal da Barra da Tijuca e a oeste ao canal de Sernambetiba. Este último, apesar da construção de um guia-corrente, tem sido bloqueado pelo acúmulo de areia na foz, exigindo dragagens freqüentes.

O funcionamento do canal de Sernambetiba e estabilidade morfológica do arco praiial adjacente (praia da Macumba) foi tema de estudo realizado pela equipe de Engenharia Costeira & Oceanográfica da COPPE. (ROSMAN *et al.*, 2000). Entre outros aspectos, o estudo mostrou a precária condição de drenagem que hoje em dia se verifica nesse canal resultando em transbordamento (majoritariamente pela margem esquerda) num trecho de cerca de 4km a partir de 1km da foz.

O sistema lagunar interligado de Jacarepaguá se encontra embutido na planície costeira, à retaguarda do cordão mais antigo, de idade provavelmente pleistocênica, apresentando um formato alongado direcionado para a extremidade leste da planície onde se comunica com o mar através de um canal de maré estabilizado por um guia-corrente. Os diferentes corpos de água que formam esse sistema lagunar apresentam baixa profundidade média, com 80% da área com menos de 2 m de profundidade, e valores máximos, da ordem de 12 m, limitados a segmentos estreitos e alongados, não contínuos, localizados preferencialmente próximo à margem norte, onde a proximidade das desembocaduras fluviais favorece a deposição de sedimentos grossos em contraposição às áreas distais que são entulhadas pela deposição, por efeito da floculação, de frações sedimentares finas, (siltes e argilas).

O principal rio, que drena para o complexo lagunar, é o arroio Fundo, com uma área da bacia de 55 km², seguido pelo rio do Anil (27,98 km²), arroio Pavuna (22,27 km²), rio Cachoeira (19,75 km²) o rio das Pedras (11,62 km²), e o rio Paraminho (10,62 km²), todos com suas cabeceiras nas encostas que circundam a baixada, e responsáveis pelo entulhamento do que antes era uma ampla laguna. Na extremidade oeste a planície é cortada por um sistema de drenagem artificial, o canal de Sernambetiba, que deságua no canto oeste da praia de Sernambetiba (praia da Macumba), pequeno arco praial separado da praia da Barra da Tijuca pelo tombolo denominado de Pontal de Sernambetiba (Recreio dos Bandeirantes). Os rios que drenam em direção a este canal são o Piabas, com área da bacia de 20,15 km², o Vargem Pequena (16,85 km²), o Vargem Grande (16,35 km²) e o Branco (9,20 km²).

O desmatamento de amplas áreas dos maciços circundantes tem aumentado o volume de descarga durante as chuvas torrenciais, majorando a frequência de extravasamentos, traduzido em inundações, e aporte sedimentar para as lagunas. À tendência de intensificação dos processos de colmatagem das lagunas se somam os elevados níveis de poluentes oriundos das descargas de esgotos domésticos e de efluentes industriais, gerando um aumento de eutrofização e de contaminação, resultando em aumento da frequência de mortandade de peixes nas lagunas, cujo escoamento em direção ao mar, através do canal da Barra, é condicionado pela oscilação da maré.



Figura 26: Imagens da orla costeira na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

4.1.8. Baía de Sepetiba

Localizada à retaguarda da restinga da Marambaia a baía de Sepetiba compreende uma área de 300 km². Em geral a baía é de águas pouco profundas, apresentando cerca de metade de sua área profundidades inferiores a 6 m. As menores profundidade e baixas declividades se encontram no setor leste. Na porção central uma depressão alongada atinge profundidades de até 8 m. O contato com o oceano se faz, principalmente, pelo setor oeste, através de dois canais, com profundidades máximas variando entre 31 e 24 m. Um dos canais, entre as ilhas de Itacuruçá e Jaguanum, é utilizado como acesso ao porto de Sepetiba. Uma outra ligação, mais restrita, é o canal de maré da Barra de Guaratiba, na extremidade leste da restinga, em cuja retaguarda se desenvolve amplo manguezal, parte da reserva biológica e arqueológica de Guaratiba.



Figura 27: Baía de Sepetiba com a restinga da Marambaia e a baixada costeira adjacente.



Figura 28: Cordão litorâneo da Marambaia. Esquerda: Transposição do cordão. Direita Erosão no flanco lagunar. (Fonte: Muehe,2006)

A restinga (cordão litorâneo) da Marambaia se estreita em direção ao seu segmento central a ponto de dar a impressão de rompimento iminente, impressão reforçada pela ocorrência de transposição de ondas e tendência erosiva do seu flanco lagunar (vide Figura 28). Esses são certamente indicadores de instabilidade. A ocasional transposição de ondas em ponto bem localizado resulta de abertura no campo de dunas por ação do vento (*blow out*) e não por ação de ondas, enquanto que a retrogradação do flanco lagunar do cordão ainda deixa na porção submersa um arcabouço capaz de resistir a uma ruptura que levaria à formação de um canal de maré, que seria rapidamente fechado pelo predomínio das ondas sobre a maré. Uma elevação do nível do mar, no entanto, poderá romper este equilíbrio.

4.1.9. Baía de Ilha Grande

O último segmento costeiro é constituído pela baía de Ilha Grande, caracterizada pela presença de maciços rochosos que atingem o mar, muitas ilhas e estreitas planícies costeiras cobertas de manguezais.

Esse compartimento é subdividido em três corpos distintos: a Área Leste, localizada a leste da Ilha Grande até à entrada da baía de Sepetiba, a Área Oeste, correspondendo ao embaixamento a oeste da Ilha Grande, e o Canal Central, depressão estreita, alongada e profunda, localizado entre a Ilha Grande e o continente, vide Figura 29.



Figura 29 Baía da Ilha Grande com seus três principais compartimentos.

A propagação das ondas para o interior da baía da Ilha Grande é condicionada pela presença da Ilha Grande e do relevo que baliza as embocaduras leste e oeste. Ondas de sul a sudeste, que são as mais frequentes, penetram para o interior da baía submetendo as praias expostas a acentuadas alternâncias entre condições de baixa e alta energia. Na Área Oeste o efeito de penetração de ondas de tempestade se faz sentir mais diretamente sobre as praias de Mambucaba (vide Figura 30), Brava e Itaorna (esta última protegida por um quebra-mar), localizadas no litoral norte do embaixamento. Medições de ondas efetuadas nas proximidades de Angra dos Reis, para o projeto da usina nuclear, mostraram que a condição mais comum é de ondas de 0,5 a 1,0m vindas de sul-sudeste. Alturas significativas máximas, de até 3 m, foram registradas no outono, tendo sido prevista uma altura máxima significativa de até 4 m para um período de recorrência de 30 anos (HOMSI, 1978).



Figura 30: Praia de Mambucaba. Erosão incipiente na escarpa da pós-praia.

No bordo oceânico da Ilha Grande, praias como as de Provetá, do Aventureiro, do Sul e do Leste, da Parnaíoca e Lopes Mendes, estão sujeitas ao impacto das ondas de tempestade. Medições realizadas na praia de Lopes Mendes mostrou um recuo da escarpa da pós-praia de 3m por efeito da tempestade de maio de 2001 (MUEHE, 2006).

Caracterizações diferentes da linha de costa podem ser feitas, por exemplo em termos de classificação granulométrica, ou em termos de bacias hidrográficas, ou ainda em termos da alimentação e transporte de sedimentos. Para tal, é necessário caracterizar o clima de ondas. Este tema será posteriormente aprofundado.

4.2. Tendência do Nível Médio do Mar no Estado do RJ

Há muito tempo faz-se monitoramento contínuo do nível do mar no Brasil, porém os dados não são referidos a um *datum* vertical confiável ou materializado através de marcos geodésicos (Referências de Nível ou RRNN), ou faltam as cadernetas de campo dos levantamentos topográficos, ou faltam os registros hidrográficos que permitiriam a recuperação das séries históricas. A Figura 31, cedida pelo Eng. Cartógrafo Roberto T. Luz do IBGE, mostra a evolução do nível médio do mar nas estações instaladas pelo US Geodetic Survey na década de 50 no Brasil, dados esses que permitiram estabelecer o datum altimétrico do Brasil (Imbituba) como o valor médio durante 9 anos.

A série de dados de nível do mar mais extensa no Estado do Rio de Janeiro foi obtida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (atualmente Centro Hidrográfico da Marinha – CHM) na Ilha Fiscal. Os valores médios anuais entre 1965 e 2000 estão representados na Figura 32, observando-se que tais valores estão referidos a um datum arbitrário pois até o momento ainda não foi possível correlacionar os valores de nível do mar com um datum fixo, como o do

IBGE. Torna-se evidente como o nível médio do mar varia de ano para ano, bem como ao longo dos anos. Como é enfatizado por PIRAZZOLI (1986), deve-se obter uma série de dados com duração mínima de 20 anos para se determinar o ciclo nodal da maré astronômica; para se caracterizar efeitos meteorológicos sobre o nível do mar, a Organização Meteorológica Mundial recomenda séries normais de 30 anos; finalmente, para se determinar tendências de longo prazo, a extensão da série deve ter pelo menos 50 anos.

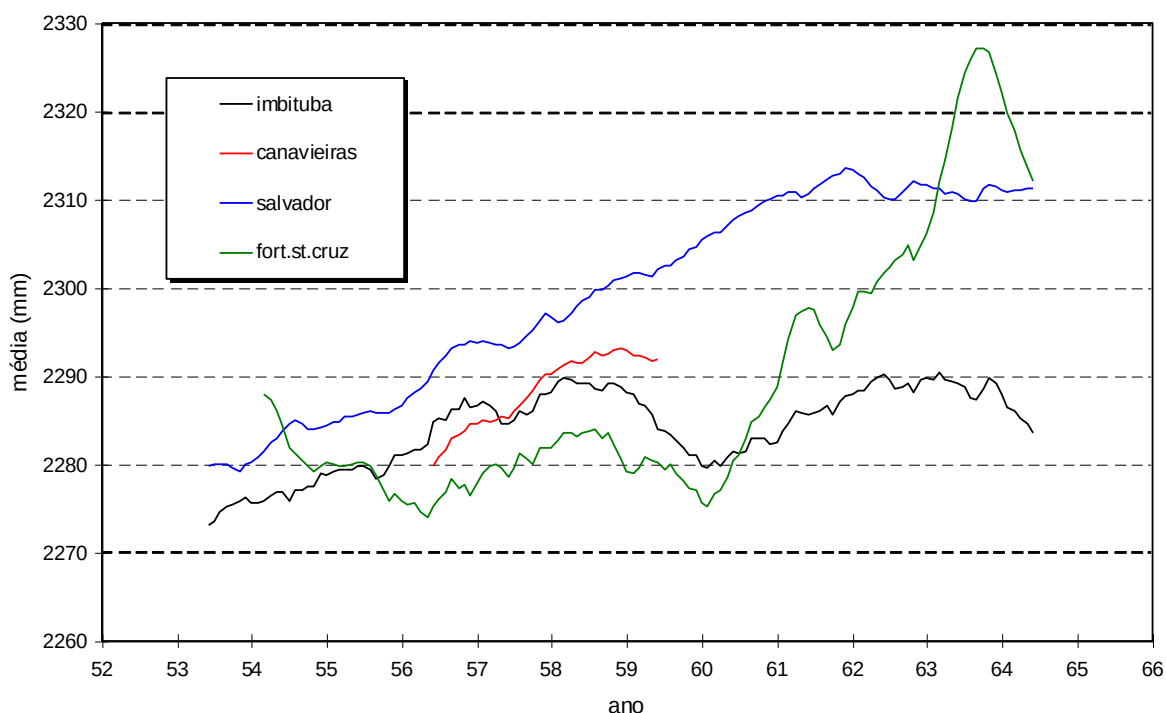


Figura 31: Valores de nível médio do mar, promediados por intervalo de 9 anos, nas estações do USGS no Brasil. (Imagem cedida por Eng.Cart. Roberto T. Luz, IBGE).

Neste ponto é importante explicar que o nível do mar, medido por um marégrafo, é na verdade a superposição de vários efeitos. As oscilações diurnas ou semi-diurnas que se observam são as marés astronômicas, resultado da atração gravitacional da Lua e do Sol, com variações de amplitude e de fase diárias, mensais, trimestrais, semestrais, anuais; o ciclo completo das variações astronômicas da maré tem duração aproximada de 19 anos. Mais sutil é a variação do nível do mar induzida por fenômenos meteorológicos, neste caso com períodos longos, da ordem de 5 a 9 dias, por exemplo, associada à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais. Por ser muito lenta esta variação, a maré meteorológica penetra com facilidade nos corpos d'água costeiros, canais, rios, lençol freático, muitas vezes afogando as saídas das redes de drenagem e impedindo o escoamento pluvial, pois em geral as frentes frias podem estar associadas a chuvas intensas. Existem ainda as mudanças relativas entre continente e mar, resultado de acomodações de terreno, especialmente em áreas estuarinas. Nessas regiões, é necessário um acompanhamento geodésico para estabelecer eventuais adensamentos, onde o terreno ao afundar dá a impressão de que o nível do mar estaria se elevando. Este fenômeno tem escala temporal da ordem de década. Finalmente existe a variação secular do nível do mar, que está sendo amplamente discutida na imprensa e literatura especializada, que se relaciona

ao aquecimento das águas dos oceanos, com conseqüente expansão (volumétrica) térmica, e o derretimento das geleiras continentais, especialmente na Groenlândia e na Antártida.

Neste relatório, o termo *nível médio relativo do mar* será empregado para designar o resultado da filtragem numérica das oscilações do nível do mar que tenham período inferior a 3 dias; o termo relativo indica que se trata de uma variação relativa entre continente e oceano.

Para ilustrar tais oscilações do nível médio relativo do mar, a Figura 33 mostra os resultados em duas outras localidades do litoral brasileiro: Cananéia (SP), que tem a mais longa série histórica registrada no Brasil, e Santos (SP); estas séries são comparadas com aquela obtida no porto de Charleston (EUA), onde se dispõe de cerca de 80 anos de observação. Verifica-se a importância do monitoramento permanente para obtenção de um cenário de elevação do nível do mar: é evidente na figura como as variações de curta duração são em geral bem maiores do que a elevação gradual observada durante o século XX.

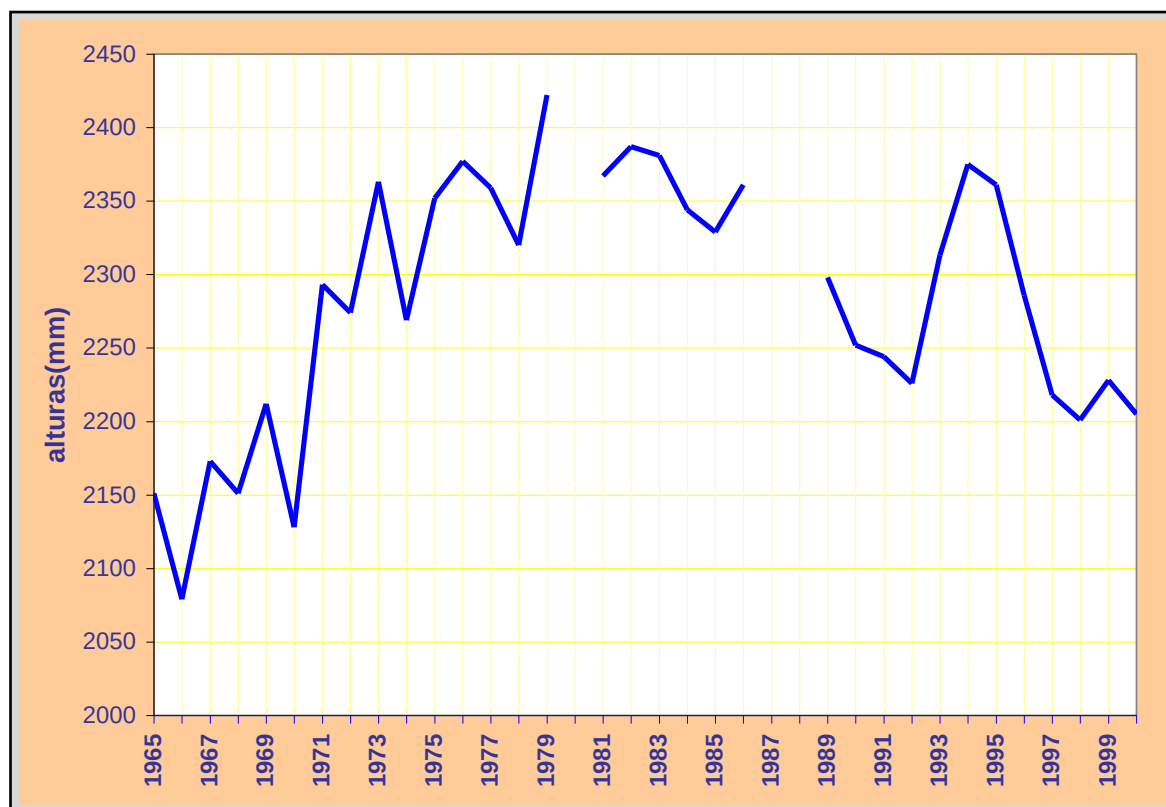


Figura 32: Variação do nível médio do mar na Ilha Fiscal, baía de Guanabara, RJ.

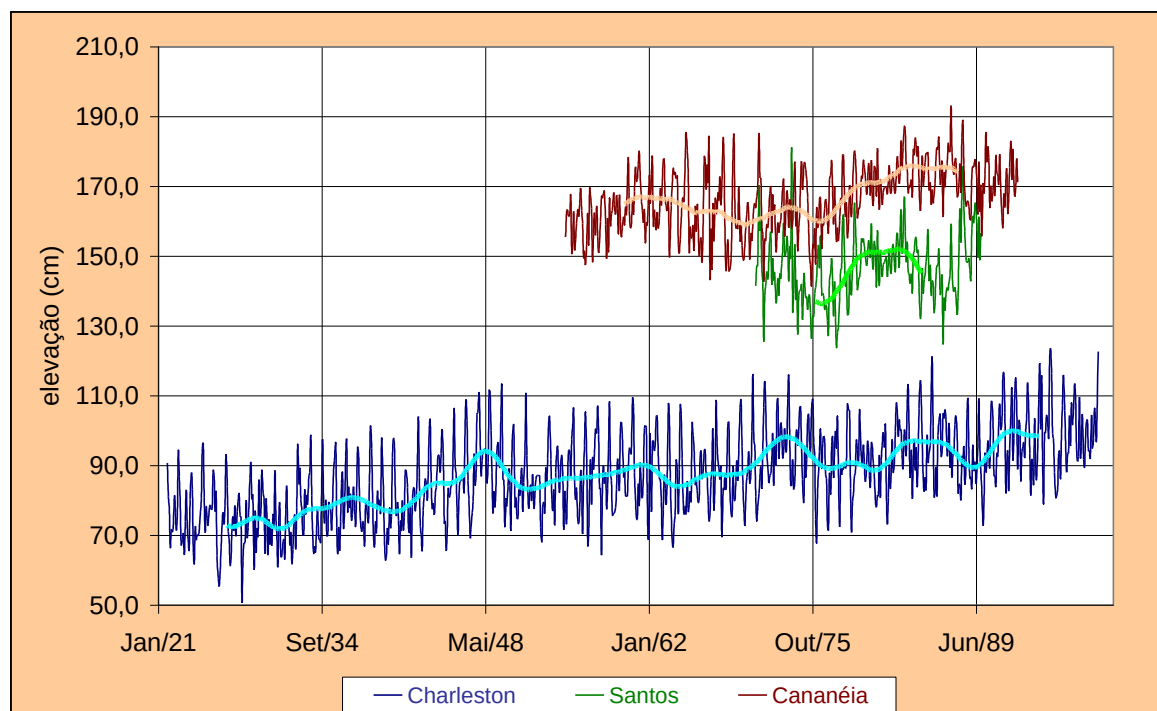


Figura 33: Variação do nível médio do mar em Charleston (EUA), Cananéia (SP) e Santos (SP).

No Estado do Rio de Janeiro, existem marégrafos operantes instalados nos seguintes locais: porto de Imbetiba, Macaé (IBGE); porto do Forno, Arraial do Cabo (IEAPM); ponta da Armação, Niterói (CHM); ilha Fiscal, Rio de Janeiro (CHM); porto de Sepetiba, Itaguaí; terminal da MBR, Mangaratiba (MBR); enseada de Piraquara, Angra dos Reis (Eletronuclear). Seria desejável a instalação complementar de marégrafos e linígrafos instalados nas embocaduras dos rios Itabapoana, Paraíba do Sul, Macaé, São João, Pavuna-Meriti, Sarapuí, Guapi-Mirim e Mambucaba, nas embocaduras das lagoas do Farol de São Tomé (Barra do Furado), de Araruama, da Tijuca e do sistema Marica (em Ponta Negra), em outros pontos das baías de Ilha Grande (em Paraty, por exemplo), de Sepetiba (em Pedra de Guaratiba, por exemplo) e de Guanabara (em Magé, por exemplo) e em locais de costa aberta. É curioso observar que em vários dos locais mencionados já foram instalados, no passado, linígrafos e marégrafos, porém a operação foi interrompida ou por pequeno prazo.

As primeiras análises de longo prazo do nível do mar no Estado do Rio de Janeiro foram feitas por SILVA (1992), utilizando aproximadamente 20 anos de dados na Ilha Fiscal a partir de 1965. Oscilações de nível médio do mar com períodos de 5 a 9 e de 16 a 23 dias foram então observadas e, na época, não foi possível identificar se elas eram causadas por fenômenos meteorológicos, hidrológicos ou oceânicos. COSTA NEVES (1992), analisando os desvios entre maré observada e maré prevista pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) em Cananéia, Santos e Ilha Fiscal, observa que existia uma tendência de aumento desses desvios (Figura 34).

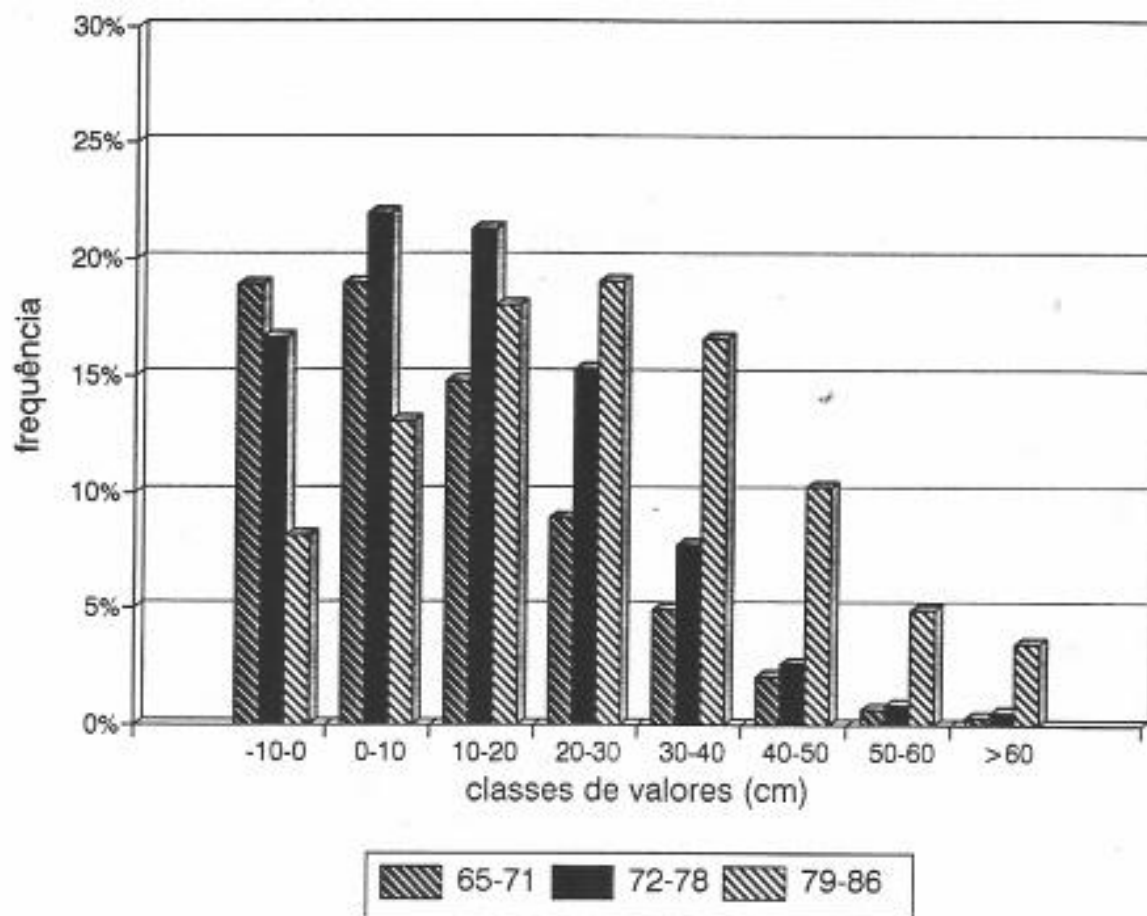


Figura 34: Histograma de Marés Meteorológicas entre 1965 e 1986 na Baía de Guanabara-RJ (COSTA NEVES, 1992).

Motivado por estes estudos, PAIVA (1993) investiga a relação entre o nível médio do mar em Arraial do Cabo (Porto do Forno) e na Ilha Fiscal, e conclui que nas duas localidades, distantes entre si quase 100 km, as oscilações tinham a mesma natureza, estavam aproximadamente em fase, exceto nos meses de dezembro e janeiro, quando o nível do mar em Arraial do Cabo era invariavelmente mais elevado. Este fato foi então atribuído ao empilhamento de vento causado no interior da enseada dos Anjos pelos ventos de Nordeste. SILVA (1997) e MOTTA (2002) aplicam um modelo de circulação atmosférica (RAMS – Regional Atmospheric Modeling System) da Universidade do Colorado para simular a circulação de vento na costa do Estado do Rio de Janeiro e determina a tensão induzida pelo vento sobre o oceano na plataforma continental interna. São fortemente evidenciados os efeitos do relevo e da conformação da linha de costa – ou seja, mudança de orientação no cabo Frio e no cabo de São Tomé – sobre o regime de ventos e conseqüente resposta do nível do mar. KALIL (1999) compara as flutuações de nível médio do mar em seis pontos da costa fluminense (Macaé, Porto do Forno, Ilha Fiscal, Ponta da Armação, Copacabana e enseada de Piraquara), estabelece uma metodologia comum para tratamento de dados e análise conjunta dos maregramas, e verifica que as oscilações estavam associadas à passagem de frentes frias ou de ondas longas de plataforma, com períodos principais na faixa de 5 a 9 dias. UAISSONE (2004) compara então os dados obtidos pela Eletronuclear S.A. na enseada de Piraquara com os dados do modelo global de circulação

atmosférica do National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research – NCEP/NCAR, em pontos selecionados sobre o oceano, a distâncias que variavam desde 20 a 300 km da costa. As correlações entre o nível médio do mar dentro da enseada e os dados de tensão zonal do vento (Leste-Oeste), pressão atmosférica e tensão meridional do vento sobre a plataforma continental eram significativamente maiores do que em relação aos pontos mais próximos à costa. Isto significava dizer que o nível médio do mar respondia a sistemas meteorológicos com dimensões bem maiores (fenômenos de meso-escala, da ordem de 10^2 km) do que os sistemas locais próximos à costa (fenômenos da ordem de 10 km). As análises foram feitas no domínio do tempo e da frequência, mais uma vez confirmando as periodicidades de 5 a 9 dias, e indicando outras nas faixas de 9 a 16 dias e em torno de 23 dias. MENEZES (2007) busca então investigar as estações meteorológicas existentes na região costeira fluminense, ampliando o trabalho de UAISSONE (2004) para incluir a região de Macaé e da baía de Guanabara. Os dados meteorológicos que se mostraram mais úteis às análises foram aqueles fornecidos pela REDEMET da Aeronáutica, onde se pôde obter valores horários de velocidade de vento e de pressão atmosférica. À semelhança de KALIL (1999), MENEZES propõe uma metodologia de análise conjunta de dados atmosféricos e oceânicos, conclui igualmente que os dados afastados da costa são mais significativos para a resposta do nível médio do mar que se observa junto à costa, e confirma a extensão geográfica dos sistemas meteorológicos que atingem o Estado do Rio de Janeiro, por exemplo mostrando (Figura 35) as pequenas diferenças espaciais de pressão atmosférica média medida nos aeroportos desde Macaé até próximo de Itaguaí (Base Aérea de Santa Cruz). No entanto, as diferenças temporais no período janeiro de 2003 a dezembro de 2004 são da ordem de 10 hPa, o que forçaria uma variação de aproximadamente 10 cm pelo fenômeno conhecido como barômetro invertido: quando a pressão for mais elevada, o nível médio será mais baixo, e vice-versa.

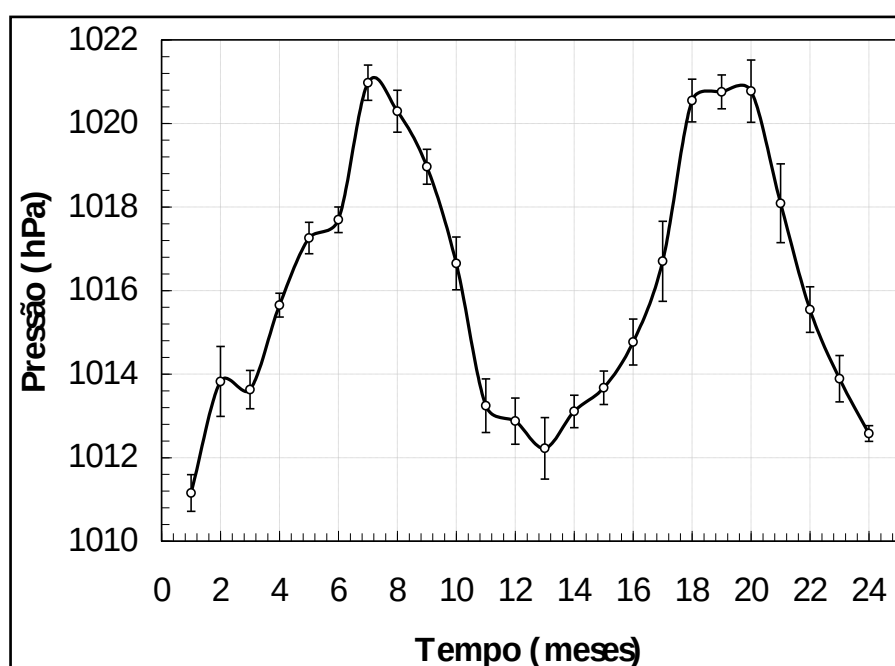


Figura 35: Pressão atmosférica média mensal das estações da REDEMET e do NCEP/NCAR no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2004. (MENEZES, 2007)

4.3. Clima de Ondas

Para fins de ação das ondas sobre a costa e estruturas costeiras, a costa fluminense divide-se em três segmentos. O primeiro, orientado na direção Norte-Sul, que se localiza ao Norte do Cabo de São Tomé, está sujeito predominantemente a um clima de ondas locais, oriundas de Nordeste e, eventualmente, é atingido por ondas de maior período e altura vindas de Sul e Sudeste. O segundo trecho, do Cabo de São Tomé ao Cabo Frio, possui orientação geral Nordeste-Sudoeste, e está mais sujeito às ondas de tempestade de quadrante Sul a Leste. Finalmente, o terceiro trecho, do Cabo Frio até a Ponta da Trindade, está alinhado na direção Leste-Oeste, protegido das ondas de Nordeste, mas vulnerável às ondas de tempestade vindas de setores Sudoeste a Sudeste.

Como resultado do clima de ondas, a orientação das praias, a direção e a intensidade do transporte litorâneo de sedimentos são estabelecidos, e a morfologia do perfil de praia é formada. Pode-se então prever as respostas das estruturas à ação das ondas, bem como prever os impactos causados por tais estruturas sobre a costa. Também como resultado da ação das ondas e da elevação do nível do mar (ou seja, do resultado combinado da elevação eustática, por vento, maré meteorológica e maré astronômica), pode-se caracterizar a variação do perfil transversal da praia (Figura 36) bem como estimar o recuo, nas direções horizontal e vertical, que a praia sofrerá (Figura 37). É importante enfatizar que o recuo do perfil da praia depende de uma combinação de fatores, que incluem, além da elevação do nível do mar, a característica granulométrica da praia (onde a areia for mais fina o recuo será maior, mantidas as demais condições) e também da altura das ondas. Conclui-se, assim, que conhecer a forma do perfil de praia para diferentes condições de agitação e de nível do mar (especialmente a variação transiente, na faixa de 5 a 9 dias) é de particular importância para estimar a vulnerabilidade de tubulações (dutos de gás, de petróleo, emissários submarinos) que atravessem a faixa dinâmica da praia, bem como dos sistemas de drenagem e de ocupação urbanística da faixa litorânea..

Por outro lado, mudanças climáticas que resultem em diferentes orientações do regime de ventos e, portanto, mudanças na direção de propagação das ondas, resultarão na acomodação da linha de costa (Figura 38). Um exemplo deste efeito é verificado na Praia dos Anjos, Araraial do Cabo, onde a construção e o prolongamento do molhe de abrigo para o porto provocou uma reorientação da linha de costa, que recuou mais de 50m numa extremidade da praia e avançou na outra extremidade. A erosão atingiu as instalações do IEAPM, que colocou enrocamento para proteger sua propriedade. O mesmo efeito verifica-se hoje em dia na praia de Ipanema-Leblon, quando há incidência de ondas de Sudoeste ou de Sudeste, respectivamente fazendo com que a praia na extremidade do Arpoador ou na do Leblon fique mais larga (e conseqüentemente a extremidade oposta fique mais estreita ou mesmo sem areia).

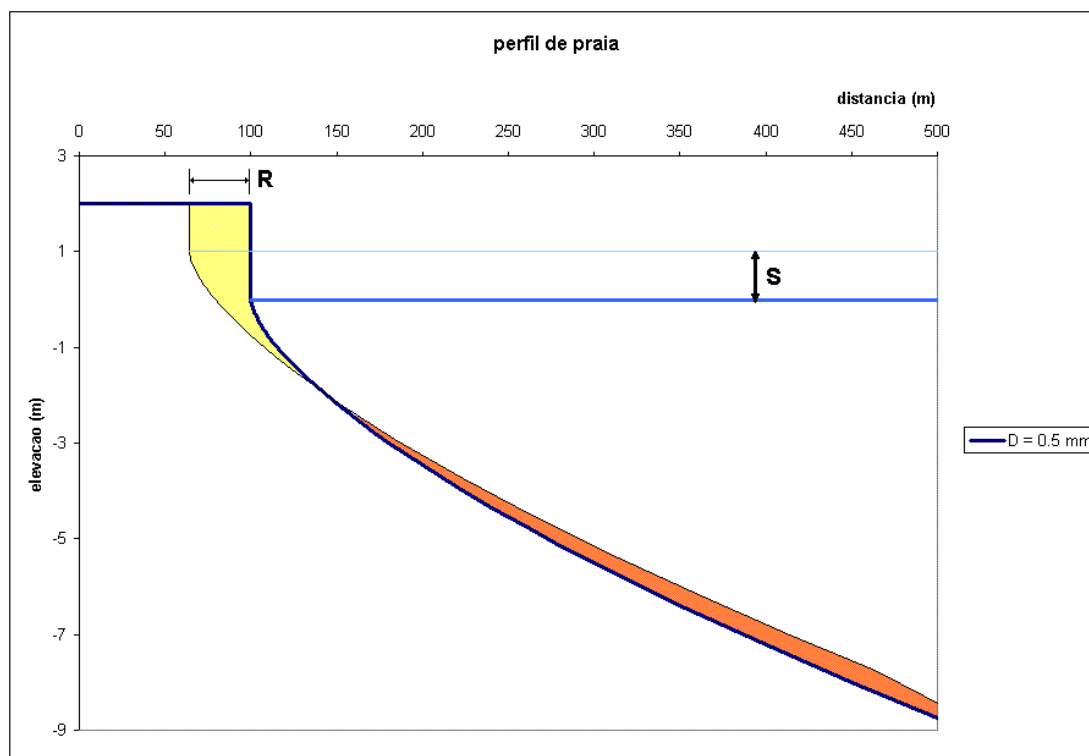


Figura 36: Resposta dinâmica da praia às ondas e à elevação do nível do mar.

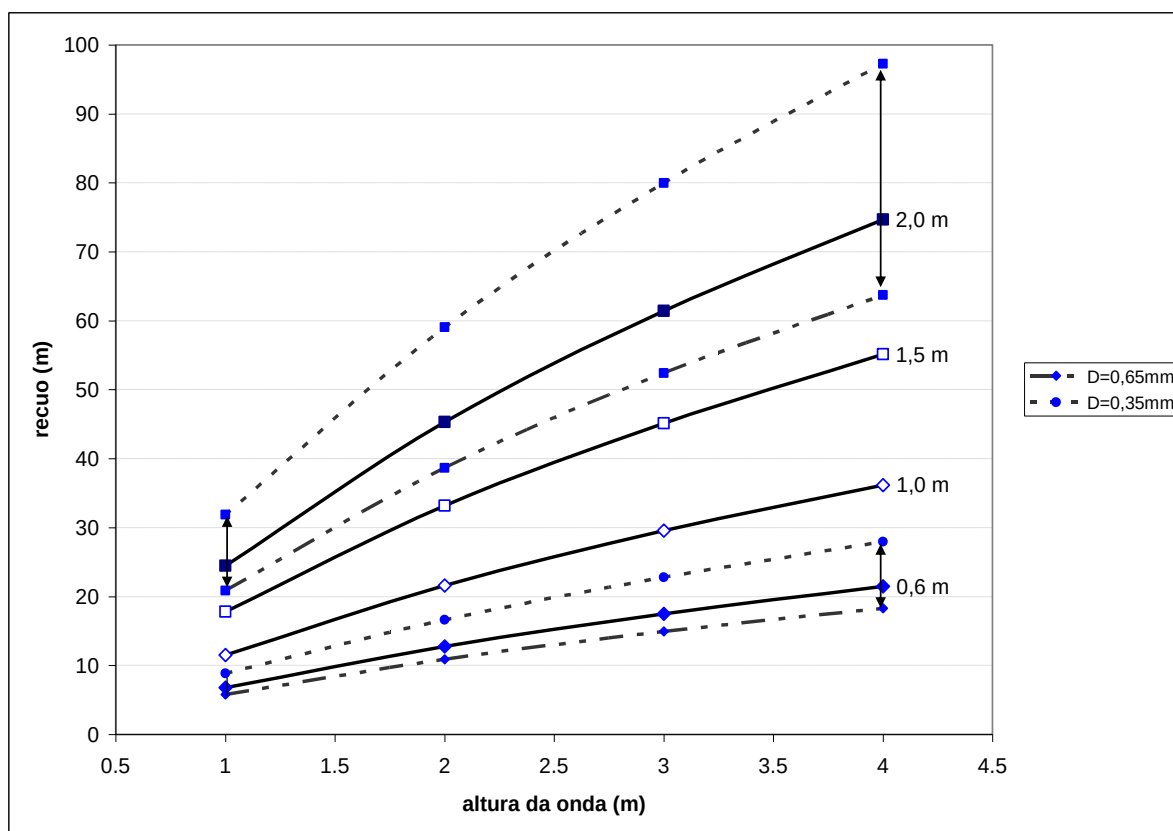


Figura 37: Estimativa do recuo da linha de praia para três tamanhos de grãos (diâmetro mediano 0,35, 0,50 e 0,65mm) e diferentes valores de elevação do nível do mar (0,6 a 2,0m) em função das alturas de onda. As linhas cheias correspondem a diâmetro mediano igual a 0,50mm.



Figura 38: Exemplo de resposta da praia de Ipanema-Leblon a um clima de ondas de Sudeste.

Poucas medições de ondas foram realizadas no Estado do Rio de Janeiro. Na década de 1960, por ocasião do alargamento da praia de Copacabana, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) fez observações visuais por 1 ano para fornecer subsídios ao modelo reduzido da recuperação da praia. Mesmo por ocasião das obras do emissário submarino de Ipanema, utilizaram-se os dados do Sea and Swell Charts compilados em 1948. Na década de 1970, foram realizadas medições de ondas na baía de Ilha Grande para o projeto das instalações da tomada d'água da Usina Nuclear de Angra dos Reis. O clima de ondas no Litoral Sul do Estado do Rio de Janeiro foi estudado por ROSMAN & VALENTINI (1989) com base no Ocean Wave Statistics e no Global Wave Statistics, posto que não existem medições de ondas sistemáticas nesta região. No Litoral Norte, em estudo pioneiro, SOUZA (1988) analisou os dados de ondas medidos com régua magnética ("wave-staff") e observações visuais de direção, a partir de instalações em plataforma off-shore localizada em lâmina d'água de 130 m, em campanha realizada pela Petrobras entre junho de 1985 e maio de 1986. VIOLANTE-CARVALHO (1998) analisou os dados de ondas obtidos com bóia meteo-oceanográfica do tipo "heave-pitch-roll", instalada no Campo de Marlim em lâmina d'água de 1250 m, e, posteriormente, de janeiro de 1994 a julho de 1995 instalada no campo de Barracuda, em lâmina d'água de 1050 m. Este autor identifica duas situações meteorológica-oceanográficas que caracterizam o clima de ondas na região da Bacia de Campos. A primeira está associada ao domínio do Anticiclone do Atlântico Sul, um sistema quase-estacionário de alta pressão, que impõe um regime de ventos e ondas de Nordeste. A segunda condição corresponde às ondas geradas pelos sistemas frontais, vindos de altas latitudes, gerando ondas de período maiores. PARENTE (1999) desenvolve metodologia inovadora para análise conjunta da agitação marítima e ventos denominada DAAT – Directional Analysis with Adaptive Techniques, que permite refinar as situações identificadas por VIOLANTE-CARVALHO (*op.cit.*).

Nos últimos 10 anos, apenas o IEAPM, em Arraial do Cabo, e a Petrobras, na região da Bacia de Campos, efetuaram medições sistemáticas de ondas no Estado do Rio de Janeiro (apenas os dados do IEAPM são de uso público). Este ainda é um prazo muito curto caso se necessite caracterizar tendências de longo prazo e urge que o Poder Público, no âmbito do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro, tome a iniciativa da implantação de um programa permanente de monitoramento de ondas no Litoral Norte e no Litoral Sul.

É preocupante que, no Estado do Rio de Janeiro, o projeto de muitas obras costeiras ou a avaliação de seus impactos ambientais ou mesmo a resposta das estruturas tenham sido feitos sem um conhecimento detalhado do clima de ondas. A partir da caracterização de um clima de ondas ao largo, as características de altura e direção de onda na costa é determinada com relativo grau de confiança, utilizando-se modelos numéricos de refração-difração. Vários estudos deste tipo foram efetuados para diferentes pontos da costa fluminense (e.g. REGO, 1992), no entanto precisa-se conhecer o relevo do fundo do mar na plataforma continental interna (usualmente considerada a região até 60 m de profundidade). No entanto, não se dispõe em geral de boa representação cartográfica da região costeira, combinando a parte emersa e submersa.

É certo, porém, que importantes consequências das mudanças climáticas globais serão: (1) o padrão espaço-temporal dos grandes sistemas meteorológicos que atuam no continente Sul-Americano e no Atlântico Sul; (2) a intensidade e a trajetória dos ciclones extra-tropicais; (3) eventuais formações de ciclones com força de furacão, a semelhança do Catarina que atingiu a costa de Santa Catarina; (4) aquecimento das águas oceânicas próximas ao continente e mu-

danças nos padrões da Corrente do Brasil, com conseqüentes mudanças no padrão de brisas marinhas e terrestres, padrão de chuvas e ocorrência de nevoeiros. Estes efeitos ainda são de difícil previsão pelos modelos climáticos globais de grande escala, embora eles sejam importantes condicionadores das características das ondas geradas no Atlântico Sul. Pode-se concluir este relatório afirmando que o maior grau de incerteza e de vulnerabilidade para a zona costeira do Estado do Rio de Janeiro reside na previsão das mudanças do clima de ondas, mais do que a tendência secular de elevação do nível do mar, recomendando-se que a Secretaria de Estado de Meio Ambiente desenvolva ações para o monitoramento permanente de ondas. Em segundo lugar de importância, devem ser avaliados cuidadosamente a conjunção de ondas com as variações transientes do nível do mar, associadas a ciclones extra-tropicais.

5. Sobre intervenções de engenharia

Discute-se neste item em forma sintetizada os principais efeitos esperados com as mudanças climáticas na zona costeira do Estado do Rio de Janeiro e ações de engenharia para remediar ou mitigar tais efeitos.

As ações de engenharia recomendadas demandam ações preparatórias do Estado, já que muitas necessitam de dados ambientais não disponíveis para dimensionamento efetivo das intervenções. Além disso, algumas intervenções implicam em realocação de pessoas, o que sempre gera dificuldades políticas e sociais.

5.1. Principais efeitos das mudanças climáticas nas zonas costeiras

Os principais efeitos das mudanças climáticas que afetam a zona costeira são:

1. Elevação do Nível Médio do Mar (NMM), como consequência dos efeitos termostérico e eustático (longo prazo) ou meteorológicos (transientes de curto prazo).
2. Aumento de extremos climáticos, i.e., períodos de secas mais prolongados e eventos de tempestades com mais ventos e chuvas de maior intensidade.
3. Possível mudança nas direções de propagação das ondas devido a alterações na circulação atmosférica, semelhante ao que já acontece em eventos de El Niño.

Tais efeitos ocorrem em sinergia gerando consequências cumulativas e não de modo isolado.

5.1.1. Consequências de cada efeito isoladamente e de forma cumulativa (sinérgica)

Discute-se nesta seção as principais consequências de cada um dos efeitos listados na seção anterior. Mostra-se as consequências diretas decorrentes isoladamente de cada efeito, e as consequências cumulativas devido à sinergia entre os efeitos.

5.1.1.1. Consequências na zona costeira devido à Elevação do Nível Médio do Mar

A elevação do NMM é um efeito persistente, isto é, define um novo nível base para as variações cíclicas do nível do mar geradas por marés e efeitos meteorológicos. As estimativas atuais para a taxa média de subida do nível do mar, em termos globais, são da ordem de meio centímetro por ano, o que resultaria para o final do século, em uma sobrelevação de 0,5 m em relação ao NMM atual.

Entretanto, como destacado na seção 4.2, para ações locais, o que realmente importa é a variação do *nível médio relativo do mar*. A taxa de variação do *nível médio relativo do mar* resulta da soma da taxa de variação do nível médio do mar com a taxa de variação do nível do terreno. Para isso, é necessário que ambos os níveis sejam medidos em relação a um mesmo Referencial de Nível (RN) confiável e fixo, e.g., o datum do IBGE.

Para ações governamentais é fundamental conhecer a taxa de variação do *nível médio relativo do mar*, pois especialmente em regiões sedimentares geologicamente recentes, como é o caso das baixadas lagunares e de baías, ocorrem significativas alterações nos níveis dos terrenos marginais ao longo dos anos. Por exemplo, se em determinada região estiver ocorrendo uma

subsistência (abaixamento) do terreno na taxa de 0,5 cm/ano, a taxa de subida do *nível médio relativo do mar* na região seria de 1,0 cm/ano.

As principais consequências da elevação do nível médio relativo do mar são:

1. Tendência de translação das praias e cordões de dunas em direção a terra.
2. Onde houver ruas e avenidas na retro-praia haverá diminuição das faixas de areia e potencial risco de ataque de ondas diretamente nas benfeitorias públicas, como ilustra o esquema na Figura 39.
3. Recuo das linhas de orla em regiões de baixadas de lagoas costeiras e baías, em função da subida do nível médio relativo da água. Nestes locais, é provável que a taxa de elevação do nível médio do mar seja superior à média, visto que se trata de regiões sedimentares geologicamente recentes, cujos terrenos tendem a sofrer subsidências. Portanto, potencialmente o problema é mais grave.
4. Problemas de macro-drenagem em águas interiores, especialmente em zonas urbanas situadas em baixadas de baías e lagoas costeiras aumentando a tendência de alagamentos. As águas fluem de cotas mais altas para cotas mais baixas e a velocidade do escoamento depende do desnível. Com a subida do nível médio relativo diminuem os desníveis, diminuindo a declividade relativa e conseqüentemente a velocidade dos escoamentos.
5. Aumento da profundidade média de lagoas costeiras e baías. Isso efetivamente representa um efeito de rejuvenescimento, em contraposição ao envelhecimento representado pelo assoreamento.
6. Aumento da intrusão salina em zonas estuarinas levando a causar aumento ou diminuição de manguezais, em função da disponibilidade de áreas de expansão, e, mais para montante, potencial problema de captação de água salobra em locais que hoje captam água doce.

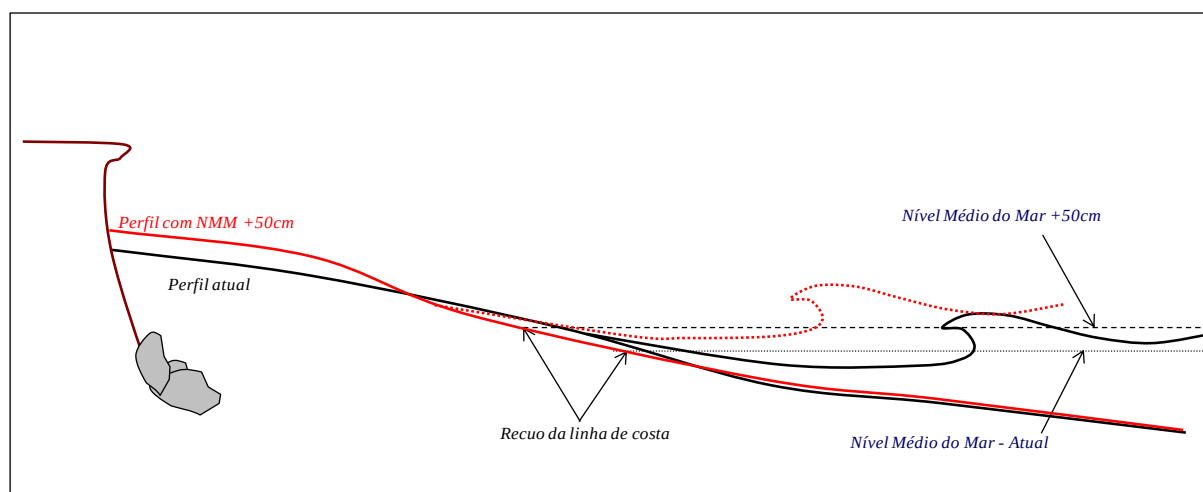
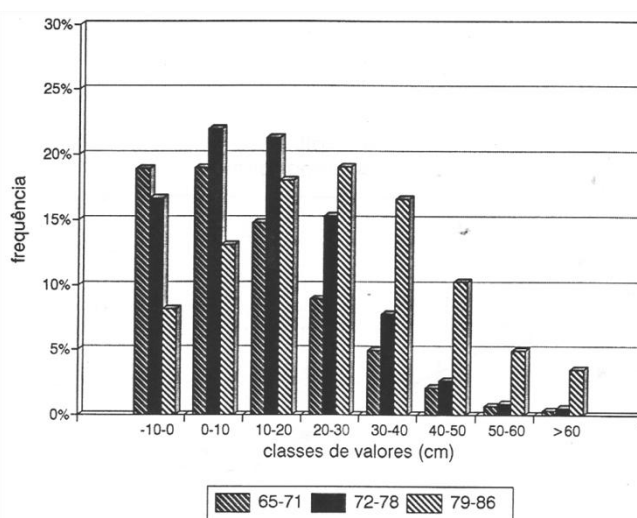


Figura 39. Esquema de recuo de linha de costa em decorrência de elevação do nível médio do mar.

5.1.1.2. Consequências na zona costeira devido ao aumento de extremos climáticos

As consequências na zona costeira do Aumento dos Extremos Climáticos são transientes ou cíclicas, pois variam ao longo das estações do ano. Aumento de extremos climáticos significa secas mais longas e ocorrências de chuvas de tempestade mais intensas e frequentes. No mar, a maior intensidade de tempestades tenderá a aumentar a altura das ondas e das marés meteorológicas. Tais efeitos se sobrepõem à elevação do nível médio relativo do mar. A Figura 40 mostra evidências claras da tendência de aumento na magnitude das marés meteorológicas.

Figura 40. Evidências da tendência de aumento da magnitude de marés meteorológicas na Baía de Guanabara, RJ. Os valores indicados representam diferenças entre níveis de maré medidos e níveis de maré previstos. Tais diferenças são basicamente devido às marés meteorológicas. (NEVES, S.C., 1992).



As principais consequências na zona costeira em função do aumento dos extremos climáticos são:

1. Com tempestades mais intensas no mar, as ondas ficam mais altas e as marés meteorológicas mais elevadas. Portanto, onde houver ruas e avenidas na retro-praia haverá sérios problemas de erosão e possível destruição de muros, ruas e avenidas devido à diminuição das faixas de areia. A Figura 41 mostra os efeitos de maré meteorológica no Estado do Rio de Janeiro, ocasionando variação do nível médio do mar ao longo dos dias. Fica evidente que as magnitudes das marés meteorológicas chegam a ser da mesma ordem de grandeza das variações usuais de maré.
2. Mais secas causam diminuição da vazão dos rios, tal efeito associado à subida do nível médio relativo do mar, e eventualmente somado a efeitos de marés meteorológicas mais altas, tende a aumentar a intrusão salina em regiões estuarinas causando incremento de manguezais e potencial problema de captação de água salobra em locais que hoje captam água doce.
3. Frequentemente marés meteorológicas estão associadas às passagens de frentes frias, que por vezes trazem chuvas intensas. Portanto, a soma dos efeitos de subida do nível médio relativo do mar com eventos de marés meteorológicas mais elevadas e chuvas intensas irá ocasionar sérios problemas de macrodrenagem em zonas urbanas situadas em baixadas de baías e lagoas costeiras, com alagamentos e inundações crescentes.

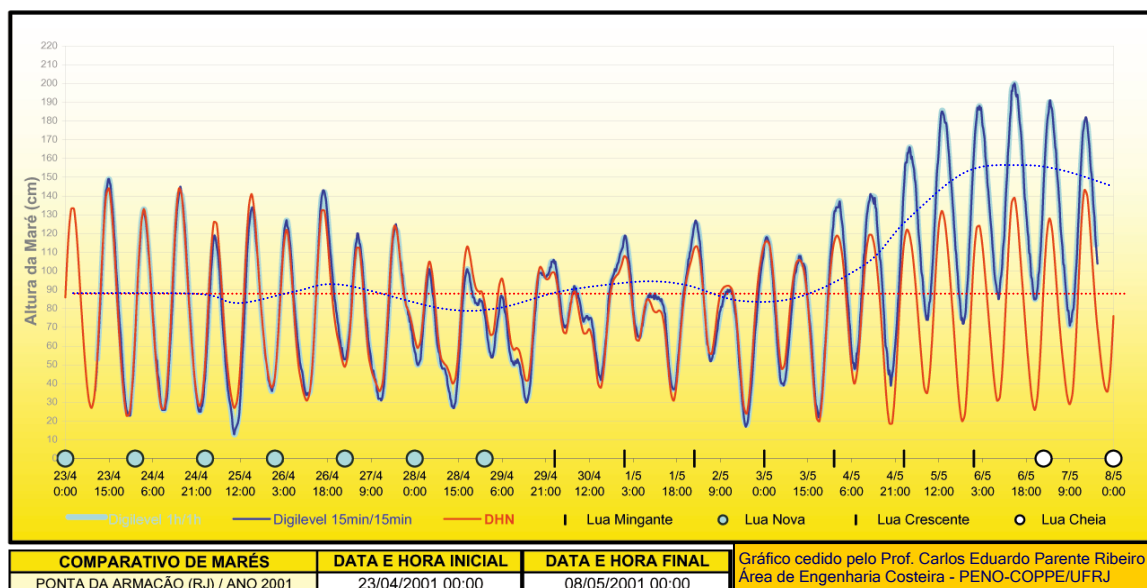


Figura 41. Registro de maré meteorológica no Estado do Rio de Janeiro. A linha vermelha representa níveis previstos de maré astronômica. A linha azul retrata os níveis reais medidos, que englobam os efeitos de maré astronômica e maré meteorológica. As linhas pontilhadas marcam os níveis médios do mar previstos e medidos ao longo dos dias. A maré meteorológica se caracteriza pela variação do nível médio diário, i.e., a diferença entre a linha pontilhada azul e a linha pontilhada vermelha.

5.1.1.3. Consequências na zona costeira devido a mudanças nas direções de propagação das ondas

As consequências na zona costeira devido a mudanças de direções de propagação das ondas são persistentes. Embora as direções de propagação mudem ao longo do ano, refletindo os ventos típicos de cada estação, as mudanças serão persistentes. As principais consequências de tais efeitos são:

1. Tendência de realinhamento de linhas de praia, buscando novos arcos de equilíbrio em função das novas direções dominantes de propagação das ondas que atingem a praia, como exemplifica a Figura 42.
2. Por se tratarem de efeitos persistentes, o novo alinhamento de equilíbrio poderá trazer sérios problemas em arcos de praia em zonas urbanas, tais como as praias oceânicas do Rio de Janeiro, Niterói e Cabo Frio.

As praias são formações sedimentares muito dinâmicas que, continuamente, tendem a se realinhar em função do clima de ondas que as atinge. A tendência do alinhamento da orla é sempre ficar perpendicular à direção de propagação das ondas dominantes vigentes.

Como funciona o realinhamento das praias: Para facilitar o entendimento do mecanismo de realinhamento das praias exemplifica-se com o caso da praia do Arpoador-Ipanema-Leblon que é alinhada com o eixo Leste-Oeste, v. Figura 42. Um observador na praia de Ipanema, olhando para o mar, está olhando para Sul. As ondas típicas de bom tempo, na sua maior parte vêm do quadrante Sudeste (SE), ou seja, pela esquerda do observador. Em contraste, as ondas de tempestade, ou ressacas, vêm predominantemente do quadrante Noroeste (NO), ou seja, pela direita do observador.

temente pela direita do observador, do quadrante Sudoeste (SW). Entretanto, vale lembrar que também ocorrem ondas de bom tempo vindas de SW, bem como ressacas vindas de SE.

Ondas do quadrante Sudeste (SE) transportam areia em direção ao Leblon. Como tal clima de ondas é reinante e dominante na Primavera e Verão, a resultante do transporte de sedimentos é para o Leblon. Assim, no fim do Verão, a tendência é o Arpoador estar deficitário de areia e o Leblon superavitário. Opostamente, no Outono e Inverno há maior ocorrência e dominância de ressacas, que usualmente provêm do quadrante Sudoeste (SW), portanto o clima dominante é de ondas de SW. Ondas desta direção transportam areia em direção ao Arpoador. Assim, ao final do Inverno, o Arpoador tende a estar superavitário de areia e o Leblon deficitário.

Em todos os meses ocorrem ondas de ambos os quadrantes. Mas, na Primavera e Verão, predomina o bom tempo e as ressacas são menos intensas e menos frequentes. Contrariamente, no Outono/Inverno, embora o bom tempo também seja mais frequente que o mau tempo, ocorre muito mais ressacas, e estas são mais intensas, do que na Primavera/Verão. Estatisticamente, levantou-se que desde a década de 50, mais de 70% das ressacas fortes o bastante para ser notícia de jornal ocorreram no Outono/Inverno, sendo cerca de 30% no Outono e de 40% no Inverno.

Evidentemente, não há um equilíbrio perfeito ano a ano no volume de areia que é transportado de um lado para o outro e vice-versa. Há anos nos quais a resultante favorece o Leblon e há anos em que o Arpoador é favorecido. Entretanto, ao longo de períodos mais longos, digamos 5 anos, o equilíbrio prevalece, caso contrário ou o Leblon ou o Arpoador não existiria como praia. Mas, vez por outra ocorrem fenômenos naturais que causam um forte desequilíbrio. Em anos de El Niño, a circulação atmosférica alterada muda os ventos e conseqüentemente a direção de propagação das ondas. Na praia do Arpoador-Ipanema-Leblon, em anos de El Niño, as ressacas entram mais de Sul e SE ao invés do mais usual que é de Sul e SW. A conseqüência é o desequilíbrio no balanço do transporte de sedimentos, causando um grande acúmulo no Leblon e déficit no Arpoador, como indica a linha pontilhada na Figura 42.

Como consequência de mudanças climáticas, um efeito similar pode deixar de ser episódico e tornar-se persistente. Evidentemente, as consequências seriam graves.



Figura 42. Exemplo de arco de praia em zona urbana – praia do Arpoador-Ipanema-Leblon. Destaca-se a típica tendência de realinhamento do litoral devido a mudanças de direção de propagação das ondas em anos de El Niño. Efeitos similares podem ocorrer como consequência de mudanças climáticas.

As praias, além de serem ótimos locais de lazer em épocas de bom tempo, são as melhores estruturas existentes para proteção do litoral. Nada dissipa de modo mais eficiente a energia

das ondas de uma ressaca do que uma praia. Essa dissipação ocorre basicamente através de dois mecanismos. O primeiro está na arrebentação das ondas causada pelas profundidades decrescentes em direção ao litoral, como ocorre defronte a praias. O segundo está na existência de grande quantidade de areia para ser transportada pelas correntes e turbulências geradas na zona de arrebentação das ondas. Tanto a turbulência na arrebentação quanto o transporte de areia são mecanismos extremamente eficientes para dissipação da energia das ondas.

Entretanto, em zonas urbanas, uma praia que, em condições naturais, havia sido livre e dissipativa, se torna restrita e refletiva, se o estoque de areia for limitado e as ondas começarem a atingir estruturas na retro-praia. A arrebentação de ondas sobre estruturas urbanas leva, invariavelmente, a desastres.

Repare que em zonas urbanas, o efeito de subida do nível médio relativo do mar, efetivamente, reduz o estoque de areia útil entre as estruturas urbanas na retro-praia e linha de orla, cf. Figura 39. Em situações de marés meteorológicas a redução do estoque efetivo é ainda maior. Portanto, fica evidente a sinergia entre os diversos efeitos de mudanças climáticas.

5.2. Ações de engenharia para prevenção e remediação

Discute-se nesta seção, em caráter geral, ações que devem nortear intervenções de engenharia para prevenção, mitigação e remediação das consequências dos efeitos das mudanças climáticas em zonas costeiras. Basicamente dois grupos de intervenções são primordiais:

1. Ações em praias oceânicas de zonas costeiras urbanizadas, para prevenir e mitigar consequências futuras e até mesmo remediar situações atuais. O que se quer evitar são os problemas de erosão de praias, diminuição do estoque de areia e risco de sérios danos a benfeitorias urbanas como calçadas, avenidas, ruas e moradias.
2. Ações em áreas marginais de baixadas de baías e sistemas lagunares, de modo a prevenir e mitigar consequências futuras e até mesmo remediar situações atuais, relacionadas à crescente probabilidade de aumento de frequência e magnitude de alagamentos e inundações.

5.2.1. Ações preventivas em praias oceânicas de zonas costeiras urbanizadas

Nas praias oceânicas em áreas urbanas ou com estruturas na retro- praia, sempre que possível, a melhor solução é aumentar o estoque de areia, ou no jargão técnico, de engordamento de praia. O esquema da Figura 43 ilustra o resultado esperado com o aumento de estoque. Na figura sugere-se um aumento da largura da praia, afastando a linha de costa das estruturas urbanas e a criação de um campo de dunas como reserva estratégica.

O custo de tal tipo de intervenção é muito baixo em face aos benefícios. Os principais benefícios são o de manter e até melhorar as condições de turístico e lazer, além de prover o estoque de areia necessário para evitar os transtornos que decorreriam das mudanças climáticas. Se nada for feito, as consequências de elevação do NMM, em sinergia com ressacas e marés meteorológicas mais intensas, inexoravelmente acarretará em episódios de destruição de calçadas e avenidas de forma crescente, chegando a inviabilizar áreas residenciais defronte a praias.

Em praias ainda com urbanização leve, será provavelmente mais econômico retroceder as benfeitorias públicas como estradas, do que engordar as praias.

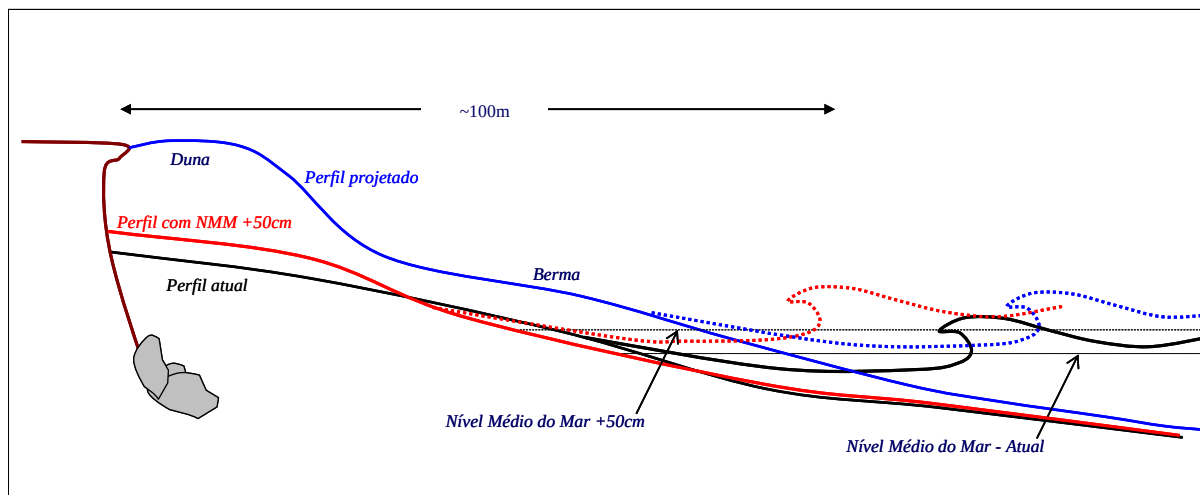


Figura 43. O perfil azul indica uma possível intervenção de aumento de estoque de areia em uma praia oceânica em zona costeira urbanizada.

Em zonas costeiras que vierem a ser urbanizadas no futuro, é imperativo respeitar uma maior distância em relação à linha de orla e, em nenhuma hipótese, ocupar ou aprisionar a primeira linha de dunas sob avenidas ou calçadas. Basicamente, este é o erro em quase todas as cidades costeiras. Veja por exemplo o que ocorre nas praias do município do Rio de Janeiro, onde avenidas e calçadas estão construídas sobre o primeiro cordão de dunas, efetivamente retirando a areia das dunas do estoque estratégico para proteção da praia e do litoral. Na imagem da Figura 42 tal efeito é especialmente notável nas regiões do Arpoador e do Leblon.

Em locais onde as praias são muito extensas, e.g. praia da Barra da Tijuca no Rio de Janeiro, pode ser necessário segmentar a praia criando enseadas para viabilizar a estabilidade do engordamento de praia, como exemplifica a Figura 44.

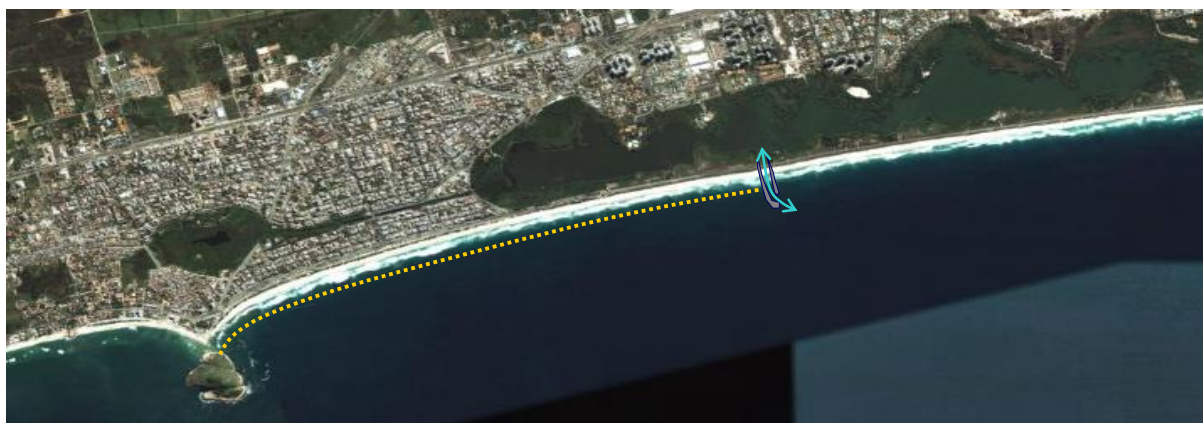


Figura 44. Possível solução para possibilitar o aumento do estoque de areia em praias urbanas muito extensas. No exemplo a praia da barra da Tijuca no Recreio foi segmentada por guia-correntes ligando a Lagoa de Marapendi ao mar. Além de viabilizar o engordamento indicado, criou-se uma condição para melhoria da qualidade das águas na Lagoa. No caso, outra abertura mais a leste seria necessária, para criar outra enseada.

Finalmente, vale ressaltar que obras de aumento de estoque de areia, i.e., engordamento de praia, podem ter validade de décadas, vide Copacabana. Porém há casos em que intervenções de reposição de areia são necessárias, em geral, não mais que uma vez por década.

5.2.2. Ações preventivas em baixadas de baías e sistemas lagunares

De longe, as intervenções em áreas marginais urbanizadas em baixadas de baías e sistemas lagunares são as mais complexas sob o ponto de vista social e político, por envolverem a realocação de pessoas e rearranjo de zonas de cidades. Tais ações efetivamente irão demandar planos diretores municipais a serem seguidos por décadas. É muito provável que haja necessidade de uma ação coordenadora e fomentadora do Estado para viabilizar as intervenções.

Em regiões marginais urbanizadas em baixadas de lagoas costeiras e baías, sempre que possível, deve-se iniciar o processo de transferência das pessoas para outras áreas e o desfazimento da urbanização nas áreas mais vulneráveis a alagamentos, ou que passarão a ter crescentes problemas de inundação.

Com o desfazimento da urbanização, as áreas desocupadas devem ser rapidamente transformadas em parques ou áreas de recreação para uso da população. Tais passariam a funcionar como zonas estratégicas de amortecimento e acumulação de água, potenciais piscinões naturais, mitigando efeitos em áreas vizinhas. Isto é, terão uso como parque e área de lazer em condições de bom tempo, mas áreas serão eventualmente alagadas e inundadas em situações de marés altas e chuvaradas. A drenagem urbana das áreas vizinhas aproveitará tais áreas para despejo de suas águas em situações de necessidade.

Em regiões propensas a alagamentos crescentes nos quais seja muito difícil a transferência da população e o desfazimento da urbanização, há que se projetar sistemas de diques e comportas. Entretanto, dado o alto custo e as dificuldades operacionais de tais sistemas, devem ser restringidos a casos excepcionais.

Muitas das regiões mais vulneráveis a alagamentos e inundações são conhecidas pelas prefeituras locais. Entretanto, a demarcação precisa de tais regiões demanda levantamentos topográficos com altimetria detalhada, pelo menos entre as cotas do NMM e a cota +2,5m. Nesta faixa de cotas, as linhas de nível devem ser definidas no mínimo a cada 0,5m.

Considerando que a maioria das áreas propensas a inundações e alagamentos é ocupada por população de baixa renda, com urbanização muito precária, esta pode ser uma oportunidade para solucionar dois problemas. Primeiro, resgatar a dignidade desta população com projetos de urbanização e moradia adequados, melhorando a qualidade de vida no município. Segundo, criando condições estratégicas para desenvolvimento do município e enfrentamento dos desafios a serem postos pelas mudanças climáticas.

No que concerne a potencial problema de captação de água salobra, decorrente da maior intrusão salina devido à subida persistente do NMM, e ainda mais em eventos transientes, porém sinérgicos, de maré meteorológica, deve-se prever a realocação dos pontos de captação. Evidentemente, devem mudar para montante, os pontos de captação que passarem a captar água salobra.

O dimensionamento de tais intervenções demandará conhecimento de topo-hidrografia de baías, sistemas lagunares e trechos estuarinos de rios afluentes. A Figura 45 exemplifica um tipo de informações que se pode obter com modelagem computacional para auxílio a projetos de engenharia e planejamento urbano de cidades em baixadas. Para utilização de modelos é imprescindível dispor-se de dados atualizados de batimetria e contornos de margens. A carência de tais dados em sistemas lagunares e rios de baixada é muito grande.

O exemplo apresentado na Figura 45 mostra que efeitos da subida do NMM não são lineares no interior dos corpos de água. Gráficos de nível de maré similares aos apresentados podem ser feitos prontamente para outros pontos da Baía e ao longo dos rios afluentes. Repare que na previsão feita para 2100, considerou-se a ocorrência de assoreamento na Baía de Guanabara. A consideração feita quanto ao modo de assoreamento foi expedita, objetivando meramente exemplificar um dos estudos que podem ser feitos através de modelagem computacional.

O que se apresenta como exemplo na Figura 45, pode ser efetivado para outras baías, sistemas lagunares e estuários do Estado, permitindo se avaliar potenciais níveis de inundação em diferentes cenários. Dada a complexidade de tal empreitada e as especificidades de cada corpo de água, tal tarefa excede em muito o escopo deste relatório. De modo a se viabilizar tais estudos, será necessários desenvolver um programa de trabalho com objetivos bem definidos, incorporando campanhas de levantamento de dados.

5.2.3. Considerações finais sobre respostas de engenharia

De acordo com os resultados do Grupo III do IPCC (e.g. IPCC, 1994; IOC/UNESCO, 1999), as possíveis respostas às mudanças climáticas na zona costeira dividem-se em três categorias: proteção, acomodação e recuo. No caso de zonas fortemente urbanizadas ou com utilização industrial bem definida (por exemplo, portos), justificam-se as soluções de engenharia de maior vulto. Em regiões medianamente ocupadas, existe em geral possibilidade de se acomodar novos usos (por exemplo, transformar áreas vulneráveis em parques ou criar ambientes para aquicultura), mas principalmente é possível planejar com antecipação usos futuros do espaço costeiro através de projetos de zoneamento. Finalmente, existem situações onde não há nada a fazer ou que os custos de realocação de casas e benfeitorias sejam econômica e ambientalmente mais recomendáveis, inclusive em benefício da segurança da população.

No Estado do Rio de Janeiro, encontram-se atualmente em curso essas três categorias de resposta, ou podem ser citados exemplos no passado que ilustram a proteção (e.g. praia de Copacabana), a acomodação (e.g. criação de reservas ou parques costeiros) e o recuo (e.g. pontal de Atafona). No próximo capítulo, alguns exemplos de obras serão discutidos em maior detalhe. No entanto, é preciso fazer uma projeção daquilo que será a Zona Costeira Fluminense, Mar Territorial Adjacente e Zona Econômica Exclusiva.

A ocupação urbana vem se expandindo de modo contínuo, numa faixa que se estende desde Macaé até Mangaratiba. Pode-se antecipar, até 2100, a formação de uma megacidade (IOC/UNESCO, 1999), com problemas relacionados aos usos de recursos hídricos e minerais, à poluição atmosférica, à manutenção de ecossistemas costeiros e à proteção das benfeitorias urbanas ou instalações industriais. Esta é a megacidade que enfrentará os possíveis efeitos das mudanças climáticas, demandando o encaminhamento de soluções técnicas e políticas.

Ao contrário de muitos países que já enfrentam situações críticas relacionadas ao nível do mar e a vulnerabilidade a fenômenos climáticos, o Estado do Rio de Janeiro situa-se em condição relativamente confortável. Acredita-se que as mudanças que ocorrerão nos próximos 30 anos sejam decisivas para a prospecção até 2100. Portanto há tempo para se instalar um programa sério de monitoramento ambiental, que garanta a escolha adequada e o projeto bem fundamentado das soluções de engenharia a serem adotadas no futuro. De acordo com o estudo elaborado para o U.S. Federal Emergency Management Agency (HOWARD, 2005), uma lista de dez quesitos foi elaborada para orientação das agências de seguro quanto à proteção contra inundações costeiras. Esta lista de ações poderia seguramente ser adotada pelo Estado do Rio de Janeiro quanto à mitigação das vulnerabilidades em face de mudanças climáticas. Os itens considerados são os seguintes:

1. Determinação do nível médio do mar e de ambientes costeiros.
2. Procedimentos de projeto e de avaliação das estruturas costeiras.
3. Cálculo acurado das transformações sofridas pelas ondas por efeito batimétrico.
4. Avaliação da erosão induzida por marés meteorológicas.
5. Cálculo do espreamento das ondas (alcance das ondas em situação de ressaca).
6. Cálculo do efeito dinâmico das ondas sobre o nível médio do mar.
7. Cálculo do galgamento das ondas em estruturas costeiras.
8. Avaliação permanente das alturas das ondas.
9. Mapeamento das zonas de risco ao longo da costa.
10. Mapeamento das dunas frontais.

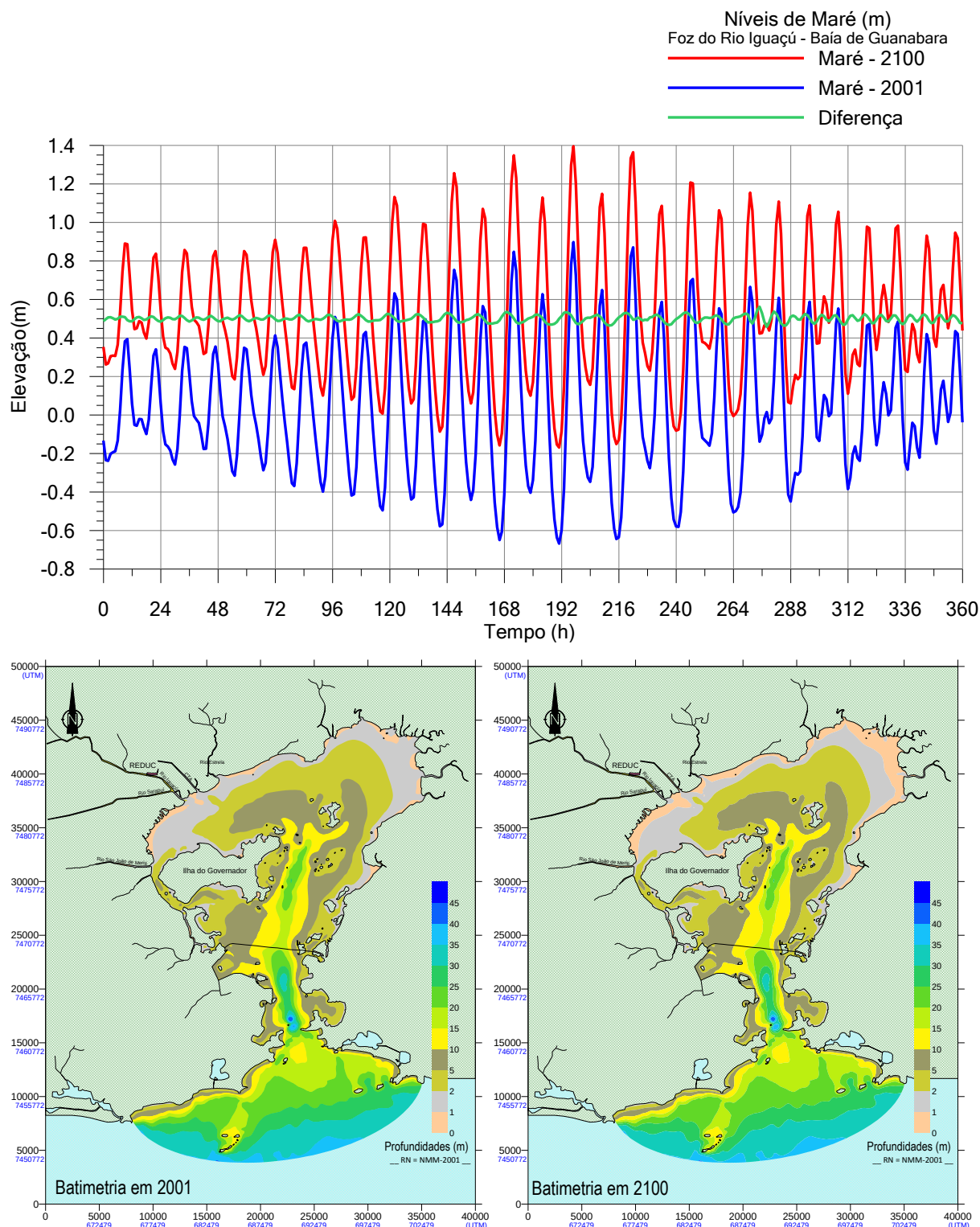


Figura 45. Estimativa de efeitos da subida do nível médio do mar nas marés na Baía de Guanabara. O gráfico acima mostra previsões de variação dos níveis de maré na região da foz do Rio Iguaçu. Os mapas mostram estimativas de mudanças de batimetria decorrentes de assoreamentos prováveis. Em ambos as batimetrias são referidas ao NMM de 2001. Nota-se que devido a efeitos dinâmicos, a variação efetiva nos níveis de maré no fundo da baía pode ser até 10% superior à variação do nível médio do mar.

6. Sobre intervenções em diferentes compartimentos costeiros

Esta seção apresenta uma visão geral do litoral do Estado do Rio de Janeiro, abordando aspectos relativos às obras de engenharia e sua vulnerabilidade às mudanças climáticas. Neste contexto, são considerados os seguintes possíveis efeitos: a elevação termo-estérica e eustática do nível do mar, as oscilações induzidas por efeitos meteorológicos, as mudanças do clima de ondas, as variações climáticas sobre o regime de brisas induzidas por padrões de temperatura da superfície do mar e os efeitos das mudanças hidrológicas sobre os estuários.

Neste capítulo, de forma a facilitar a leitura, algumas figuras previamente apresentadas no capítulo 4.1, em outro contexto, são repetidas.

6.1. Compartimentos morfológicos da zona costeira

No capítulo 4 foi apresentada uma caracterização morfológica geral da zona costeira fluminense, com base nos estudos de VALENTINI & NEVES, 1993; MUEHE & VALENTINI, 1998 e MUEHE, 2006. A visão macroscópica que foi apresentada, considerava a morfologia do litoral e as áreas de influência costeira das principais bacias hidrográficas, estabelecendo-se nove compartimentos, correspondendo, em grande parte, aos limites costeiros das unidades hidrográficas adotadas pela Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA, apresentado na Figura 10. A mesma compartimentação será respeitada, apresentando agora as intervenções de engenharia que foram aí construídas.

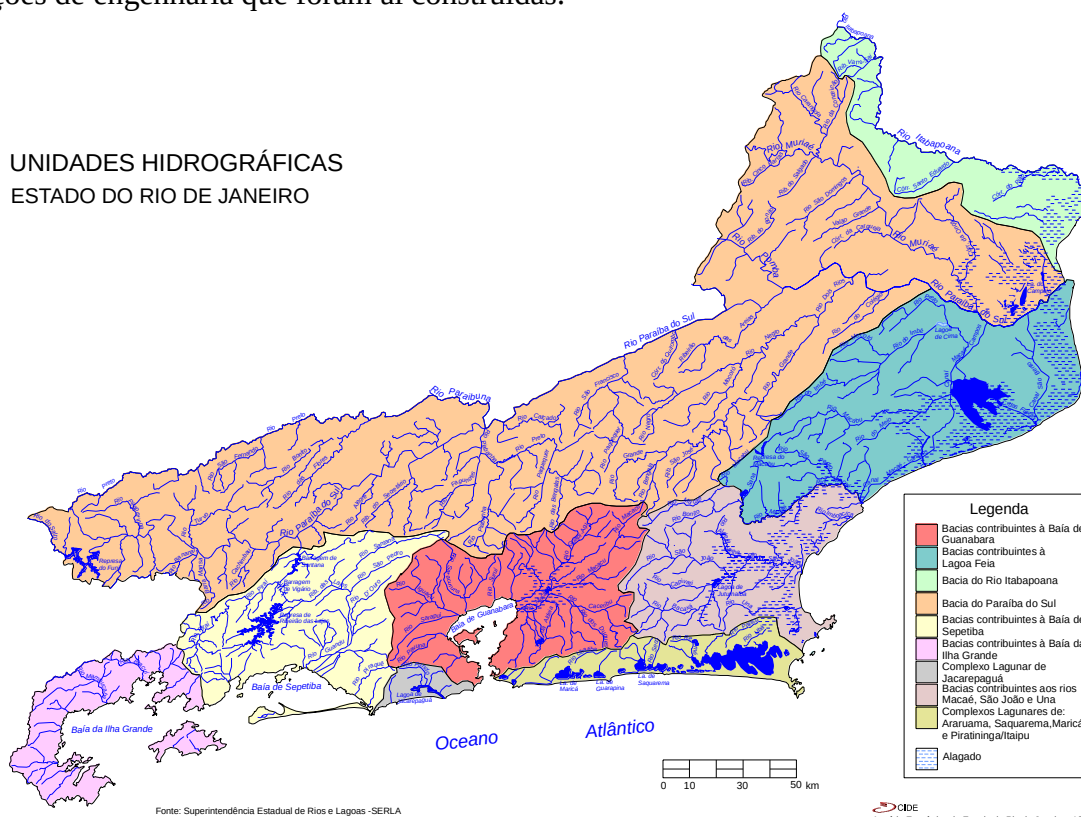


Figura 46: Unidades hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SERLA 1995).

Com isso divide-se o litoral num trecho oriental (ou Litoral Norte) e num outro trecho denominado Litoral Sul.

O trecho oriental, ou Litoral Norte, corresponde à Bacia de Campos e compreende os seguintes compartimentos: (1) entre a foz do rio Itabapoana e o rio Paraíba do Sul, (2) a planície costeira entre a foz do rio Paraíba do Sul e o rio Macaé, incluindo o Cabo de São Tomé, onde a costa muda sua orientação geral, (3) o embaçamento do rio São João que se estende de Macaé até Búzios, e (4) o embaçamento de cabo Frio entre Búzios e a Ilha de Cabo Frio. O primeiro compartimento até o cabo de São Tomé, a costa é orientada na direção Norte-Sul. A partir daí até o cabo Frio, a costa está alinhada na direção Nordeste-Sudoeste. Como visto anteriormente, ao Norte do cabo de São Tomé o transporte litorâneo de sedimentos é direcionado para Sul, enquanto que no compartimento ao Sul do Cabo, o transporte é direcionado para Norte, o que torna o cabo de São Tomé um local de grande deposição de sedimentos. As principais intervenções neste segmento podem ser divididas em três instantes de tempo: o saneamento da baixada campista e as obras contra inundações (década de 1950), a implantação da indústria do petróleo em Macaé (década de 1970) e a expansão urbana (a partir da década de 1990). Para o futuro, as obras do Porto do Açu representam a principal intervenção na região do Cabo de São Tomé.

A Ilha de Cabo Frio é um marco no litoral do Estado. A partir daí até a Ponta Trindade (limite dom São Paulo) o litoral assume a orientação geral Leste-Oeste estando portanto sujeita a um clima de ondas distinto daquele que vigora no trecho Norte-oriental. Nesse segmento, aqui denominado Litoral Sul, salientam-se os seguintes compartimentos: (5) Região dos Lagos – entre Arraial do Cabo e Niterói, (6) Baía de Guanabara que compreende todos os municípios da baixada, (7) Jacarepaguá que se estende de Ipanema à Pedra de Guaratiba, (8) Baía de Sepetiba, compreendendo a Ilha da Marambaia e orla da baía de Sepetiba; (9) Ilha Grande que compreende orlas e ilhas desde a Ilha da Marambaia até a Ponta Trindade.

6.1.1. Compartimento entre os rios Itabapoana e Paraíba do Sul

Dentro deste compartimento, localizava-se a exploração de areias monazíticas pela Nuclemon até o final da década de 1980. Isto fragilizou os cordões litorâneos na região de Ponta Buena até a foz do rio Itabapoana, tornando a área mais vulnerável em caso de inundações devidas a ressacas ou elevações do nível do mar.

Na embocadura do rio Paraíba do Sul situam-se a localidade de Gargaú, na embocadura Norte, a Ilha da Convivência e o Pontal de Atafona na embocadura Sul, submetido a forte processo de erosão desde a década de 1980. Na década de 1950, dentro do contexto das obras de saneamento da Baixada Campista projetadas pelo Eng. Saturnino de Britto, foram construídos diques ao longo das margens, desde a cidade de Campos até a embocadura do rio, canais de drenagem na margem direita que ligavam o rio à lagoa Feia, espigões nas proximidades de São João da Barra e guia-correntes cuja cota de coroamento ficavam na cota de preamar média. A partir da década de 1950, o Pontal de Atafona, na margem Sul da embocadura, começou a crescer, coincidentemente com a permanência de vazões mais baixas nos períodos de estiagem. A partir da década de 1960, intensificou-se a urbanização dessa área, apesar de ser local morfológicamente instável. A partir da década de 1980, por imposição da agência ambiental fluminense, estabelece-se uma vazão mínima a jusante da captação para o sistema La-

ges-Guandu, o que garante maiores vazões fluviais em Campos, na época de estiagem. A expansão urbana do Norte Fluminense também dá origem a intensa mineração de areia no rio Paraíba do Sul. Inicia-se então um processo erosivo que vem se desenvolvendo até hoje, com erosão de mais de 200 m de largura praia.

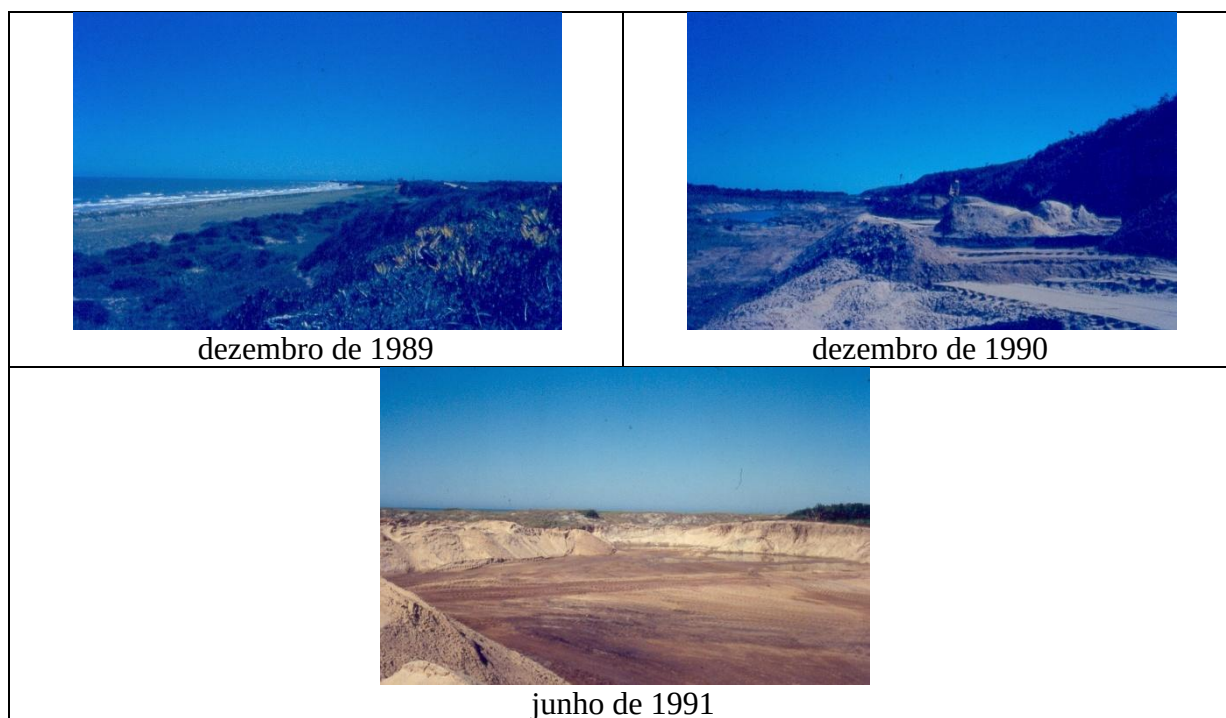


Figura 47: Planície costeira em Barra de Itabapoana: exploração de areia. Ao fundo situa-se a Ponta do Retiro (Foto: C.F. Neves).



Figura 48.. Vista do pontal de Atafona, na margem direita do delta do rio Paraíba do Sul. É visível o grave problema de erosão costeira na localidade.

6.1.2. Planície Costeira entre a foz do rio Paraíba do Sul e o rio Macaé

A planície costeira em torno do rio Paraíba do Sul é constituída por uma sequência de cordões litorâneos, que vão sendo gradualmente anexados à costa, deixando visíveis relíquias de lagoas e canais intermediários; destaca-se nesta região a localidade da Lagoa do Açu. Estes canais, onde se acumulam águas pluviais, são usados para lançamento de esgotos das muitas casas que vêm sendo construídas na região. Na época de chuvas mais fortes, ou quando o nível desses canais se eleva demasiadamente, os moradores abrem uma embocadura artificial.

O Cabo de São Tomé, Figura 49, é uma formação arenosa que se apresenta como uma suave curvatura da linha de costa e é prolongado por um extenso banco de areia submerso, que promove amortecimento parcial das ondas de quadrante Sul (ondas de tempestade) para o trecho mais ao Norte. Isto motivou a instalação de um porto na região, que é sujeita a intensa acumulação de areias, resultante dos processos litorâneos tanto das ondas de Nordeste, quanto das ondas de quadrante Sul.

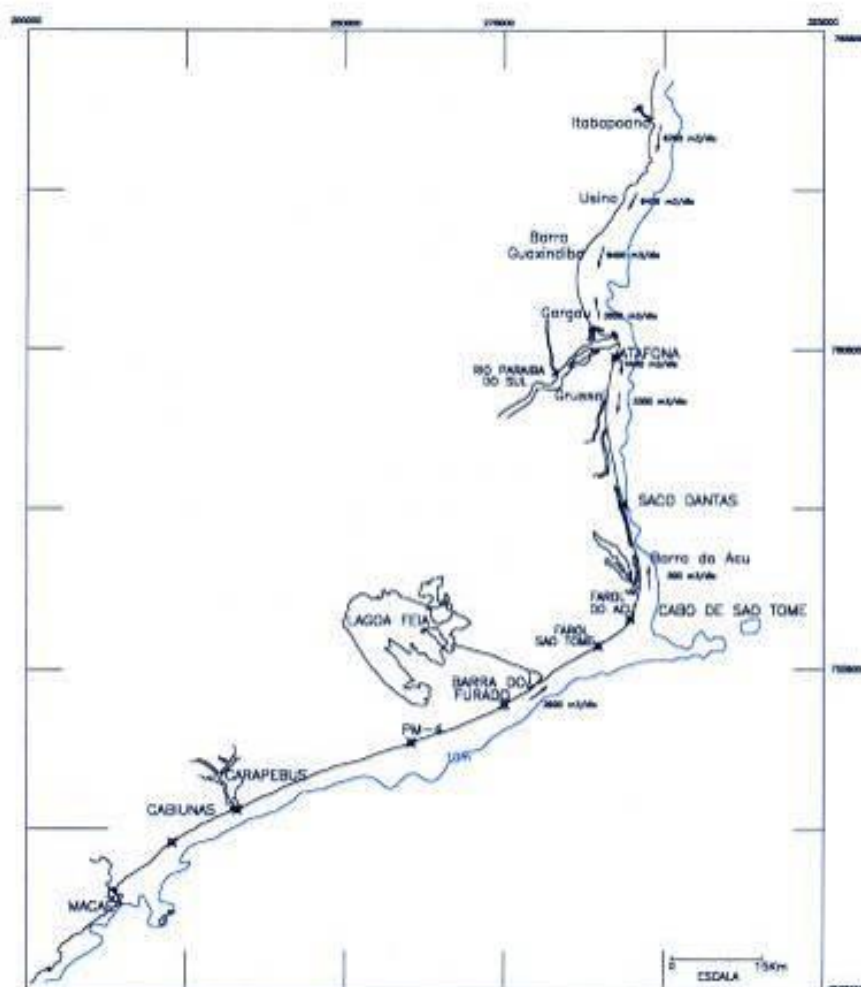


Figura 49: Detalhes do litoral oriental do Estado do Rio de Janeiro. Contorno da linha de costa e indicação das localidades. Linha batimétrica de 10m salientando o banco submarino ao largo do Cabo de São Tomé. Sentido do transporte litorâneo segundo CASSAR & NEVES (1993). Figura reproduzida de BASTOS (1997).

Dos efeitos considerados de mudanças climáticas, a região seria vulnerável às oscilações de nível médio do mar (maré meteorológica), que provocaria inundações das lagoas e canais entre cordões, e a possíveis mudanças de orientação do regime de ondas, em consequência do posicionamento relativo entre o Anticiclone do Atlântico Sul e os ciclones que se propagam de sul para Norte ou a passagem de frentes frias. Não existem informações suficientemente longas sobre a maré nesta região, não existem levantamentos geodésicos que permitam monitorar a evolução da linha de costa. As praias deste trecho possuem granulometria muito grossa (entre 0,60 a 0,80mm) e, por este motivo, os recuos da linha de praia seriam comparativamente menores do que em outras praias fluminenses que possuam areias mais finas.

Problemas erosivos significativos têm ocorrido na praia de Atafona (vide Figura 48), junto à foz do rio Paraíba do Sul. BASTOS (1997), comparando fotos aéreas de 1976 com a posição da linha de costa levantada por meio de GPS em 1996, determinou uma taxa de retrogradação de 7,5 m/ano. As razões desta erosão localizada não estão totalmente esclarecidas, mas a redução das descargas fluviais líquidas e sólidas, principalmente após a derivação das águas para o sistema Lajes-Guandu na Barragem de Santa Cecília localizada 382km a montante da desembocadura, alterou a interação entre o rio e o oceano modificando a direção e intensidade dos processos atuantes sobre a linha de praia (COSTA & NEVES 1993; COSTA 1994).

As estimativas de transporte litorâneo de sedimentos (vide Tabela 2) efetuadas por GUSMÃO (1990) e CASSAR & NEVES (1993), basearam-se em estatísticas de ondas do Atlas Global Wave Statistics e devem ser consideradas com extrema cautela. Enquanto não forem utilizadas informações pretéritas de altura, período e direção de ondas na própria região da Baía de Campos, qualquer obra que venha a interferir com os processos hidrodinâmicos e sedimentológicos costeiros deve ser considerada com muita cautela, exigindo estudos detalhados e criteriosos, inclusive em modelos físicos reduzidos. Tal região será bastante sensível a mudanças do clima de ondas, que altere o balanço entre o transporte oriundo de Norte (vagas de Nordeste) e o oriundo de Sul (ondulações de quadrante Sul).

Tabela 5: Estimativa do transporte de sedimentos devido às ondas ao longo da linha de costa. Valores médios expressos em m³/dia. (Fonte: CASAR & NEVES, 1993).

Localidade	Anual m ³ /dia	Outono m ³ /dia	Inverno m ³ /dia	Primavera m ³ /dia	Verão m ³ /dia
Itabapoana	+6.700	+4.200	+7.100	+6.400	+9.300
Guaxindiba	+9.400	+6.900	+8.300	+13.500	+0.100
Gargaú	-3.000	-2.600	-2.600	-1.300	+0.100
Atafona	+4.400	+2.900	+2.900	+4.200	+5.000
Grussaí	+3.300	+1.900	+1.900	+3.300	+4.400
B do Açú	-0.500	-1.200	-1.200	nulo	+0.400
B Furado	-2.900	-4.400	-4.400	-6.000	+0.400

A sequência de fotos mostrada na Figura 15 também ilustra a situação que se depara quando o transporte longitudinal é interrompido por ação antrópica sem que o balanço sedimentológico seja respeitado. No caso da Barra do Furado, como o transporte residual de sedimentos se dá de sul para norte, a construção dos guias-correntes deveria ter sido complementada por um sistema de transpasse de sedimentos no sentido de prover sedimentos para a costa de sotamar (no caso o trecho ao norte da estrutura) evitando com isso a erosão que aí se instalou e alterou as feições originais da linha de costa. O processo chegou a ponto de inviabilizar o uso primordial das benfeitorias realizadas que consistia numa via segura de navegação para o interior do canal das Flechas (VALENTINI & MUEHE, 2000).

A cerca de 10 km ao sul da Barra do Furado, localiza-se um dos pontos de chegada de dutos de gás e petróleo da Bacia de Campos. Foram construídos dois espigões para retenção de um engordamento artificial de um curto trecho de praia, como forma de garantir o enterramento dos dutos em qualquer condição de ondas. No caso de elevações temporárias do nível do mar, ou de ressacas, haveria naturalmente um recuo da linha de costa e um ajustamento do perfil de praia. Como a praia na região apresenta granulometria muito grossa, tal acomodação de perfil seria reduzida e, certamente, a obra efetuada constitui uma importante garantia de segurança às instalações. O mesmo tipo de obra, no entanto, não existe na região de Cabiúnas, onde também existem dutos que atravessam a faixa dinâmica da praia e onde a granulometria é mais fina (conseqüentemente os ajustes morfológicos seriam maiores). A verificação das cotas de enterramento desses dutos deveria ser efetuada, bem como estimados os perfis de equilíbrio das praias para diferentes projeções de clima de ondas.

Ao sul da Barra do Furado (canal das Flechas) até a foz do rio São João, a costa apresenta uma série de lagoas (Quissamã, Carapebus, Cabiúnas, Imboacica, etc.), separadas do mar por cordões arenosos que são rompidos, natural ou artificialmente, quando o nível das lagoas se eleva demasiadamente. Tais ambientes são vulneráveis a variações do nível médio do mar e a mudanças do regime pluvial. Neste caso, será preciso considerar alguns cenários de eventos combinados: chuvas (mais ou menos intensas) e nível médio do mar (estável ou mais elevado). De qualquer forma, é indispensável que sejam iniciados o monitoramento da qualidade e do nível da água dessas lagoas, tendo em vista que se trata ou de área de proteção ambiental ou de área urbanizada de alto valor.

No trecho costeiro do município de Macaé, merecem destaque a urbanização intensa do trecho Norte da embocadura e pontal do rio Macaé, o porto de Imbetiba e a lagoa de Imboacica.



Figura 50: Seqüência de fotos ilustrando a evolução do litoral em torno da Barra do Furado. Da direita para a esquerda e de cima para baixo: Durante as obras de construção dos guias-correntes, seqüência de fotos ao longo do tempo mostrando a evolução da linha de costa após a implantação da estrutura.

Logo ao Norte do rio Macaé, as casas hoje em dia já estão vulneráveis, mais pela construção indevida avançando na faixa dinâmica da praia, do que pelos efeitos presumíveis de uma elevação do nível do mar. A falta de ação municipal e de critérios objetivos de gerenciamento costeiro que levassem em conta aspectos de engenharia e de morfodinâmica de praias, criaram uma situação crítica, que tenderá a se agravar no futuro por ocasião de marés meteorológicas e ressacas. O próprio estuário do rio Macaé sofrerá efeitos decorrentes de intrusão salina, de mudanças no prisma de maré e de mudanças nos regimes pluviais (afogamento de regiões de manguezais, captação de água salgada em trechos mais a montante do rio, mudanças de qualidade da água devido a lançamentos de detritos no rio etc.). Alguns trechos dos cais de pescadores da cidade de Macaé foram destruídos desde o final da década de 1980 por ação das ondas,

após a erosão do pontal do Macaé que protegia este trecho de costa. Tal situação tenderá a agravar-se. De acordo com notícias veiculadas na imprensa a respeito da ressaca em agosto de 2007,

A prefeitura de Macaé, no Norte Fluminense, avalia os estragos provocados pela ressaca. Alguns moradores ficaram desalojados por causa do avanço do mar. Na Região dos Lagos, ondas com dois metros de altura causaram prejuízo na orla. Em Saquarema, na Região dos Lagos, a ressaca atingiu os quiosques no bairro de Itaúna. Segundo os moradores, havia oito anos o mar não ficava tão agitado. Os comerciantes improvisaram uma barragem, mas ela não resistiu. Eles estão sem trabalhar desde domingo (29). Toda a área foi interditada pela Defesa Civil e pelo Corpo de Bombeiros. Em Macaé, a ressaca atingiu três bairros. Em um deles, o mar avançou sobre as casas e duas delas foram interditadas porque correm o risco de desabar. Cerca de 20 moradores foram levados pela prefeitura para uma pousada. Outras 28 pessoas estão desabrigadas por morar em áreas de risco e estão na casa de parentes. No bairro Campista, o mar derrubou o calçadão. A prefeitura botou barreiras de proteção e isolou o local. (G1/1/08/07)



Figura 51: Barra do rio Macaé e destruição de casas após ressaca em agosto de 2007.

No porto de Imbetiba, caberá a Petrobras verificar a estabilidade e as cotas das obras de proteção e de atracação. Caberia fazer projeções no caso de elevações temporárias de nível do mar, resultante de efeitos combinados de maré meteorológica, maré astronômica de sizígia, ondas e elevação de longo prazo do nível do mar.

A lagoa de Imboacica possui uma embocadura instável, sendo artificialmente aberta quando o nível d'água se eleva, afetando as casas construídas (demasiadamente) junto às margens. No caso de elevação do nível do mar, tais inundações se manifestarão mais freqüentes, mesmo que não haja uma comunicação direta com o mar, pois a restinga é suficientemente estreita para permitir a percolação da água do mar através do cordão arenoso.

6.1.3. Embaíamento do rio São João

Ao sul do rio Macaé até o cabo Búzios tem-se o embaíamento do rio São João (vide Figura 52) que recebe as contribuições dos rios Macaé, das Ostras, São João e Una. Destes, o Macaé e o São João são os únicos de alguma expressão. As praias mais expressivas são as de Campista e Cavaleiros, e Mar do Norte, inserida entre dois promontórios rochosos, já no Município de Rio das Ostras.

A cidade de Rio das Ostras efetuou vários melhoramentos de sua orla. Mais uma vez verificou-se a construção demasiadamente avançada em direção ao mar, impedindo a acomodação

natural do perfil de praias em situações de nível médio do mar mais elevado. Em alguns trechos já se observa a ação de ondas sobre os muros de contenção do aterro da praia. Em junho de 2006, a Secretaria de Comunicação da Prefeitura Municipal de Rio das Ostras anunciava:

“A Secretaria de Urbanismo, Obras e Serviços Públicos da Prefeitura de Rio das Ostras está desmontando, por medida de segurança, o deck da orla da Praia da Tartaruga, que será recolocado, tão logo o problema da erosão no local seja sanado. O motivo da retirada do deck foi a forte ressaca no mar, ocorrida no último final de semana, que causou a queda do muro na parte de trás da Pousada da Tartaruga e danificou a área de lazer da pousada, além de provocar a queda de uma passarela e um píer na Praia da Tartaruga”.

<http://www.riodasostras.net/content/view/395/2/>

No rio São João é feita a transposição de águas na barragem de Juturnaíba, para abastecimento dos municípios de Saquarema, Araruama, Cabo Frio e Arraial do Cabo. Isto diminui a vazão de água doce no estuário, bem como a vazão sólida. A questão das mudanças de características hidrológicas torna-se essencial para o desenvolvimento sustentado da região. Em especial, no caso de elevação do nível do mar, isto pode permitir maior intrusão salina no estuário e prejudicar a captação de água doce que é feita na região.



Figura 52: Compartimento Macaé ao cabo Búzios ³.

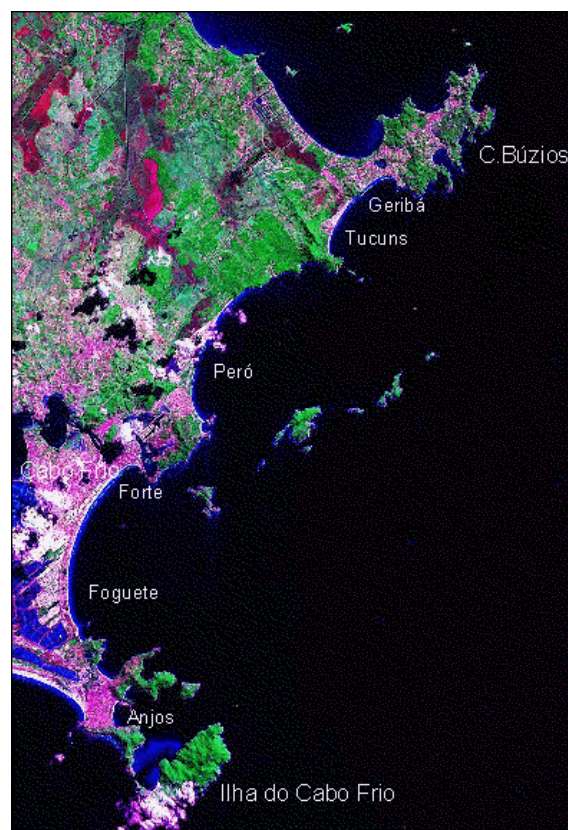


Figura 53: Compartimento cabo Búzios ao cabo Frio.

³ Observar as manchas em azul claro indicando transporte de material em suspensão em direção ao sul.

6.1.4. Embaíamento de Cabo Frio

Ao sul do rio São João e do rio Una, encontra-se uma região de costa lamosa, à sombra das ondas de tempestade vindas de quadrante Sul pelos promontórios de Armação de Búzios. A urbanização das cidades de Búzios e de Cabo Frio, os projetos de fixação da orla ou os critérios adotados na construção de avenidas litorâneas, tornam estas cidades aparentemente menos vulneráveis à elevação (temporária ou permanente) do nível médio do mar. É preciso, no entanto, monitorar mudanças no padrão de incidência das ondas, pois as inúmeras praias de enseada deste trecho de costa certamente sofreriam mudanças de alinhamento em planta. As formações de dunas, alinhadas com o vento predominante de Nordeste (vide Figura 18), sofreriam os efeitos de redirecionamento dos ventos, bem como a circulação das lagunas. Existem ainda obras de marinas que devem ser cuidadosamente estudadas em função de vulnerabilidade às ondas.



Figura 54: Urbanização da orla em Búzios. Observar a estreita faixa de areia e o muro vertical, que propicia a reflexão das ondas.

Na enseada dos Anjos localiza-se o porto do Forno, originalmente construído para receber sal para a Cia. Nacional de Álcalis. Para fornecer condições de abrigo contra as ondas, um molhe foi construído de um lado da enseada (Norte), provocando um realinhamento da praia: no lado Sul, houve o recuo da praia, destruindo um píer e afetando as instalações do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira. Os sedimentos desta porção da praia foram transferidos para a região abrigada (Norte), afetando o porto de pescadores que se formou no abrigo do molhe. Este exemplo é interessante de ser citado pois ele ilustra, de maneira quase didática, a resposta de uma praia a mudanças de direção das ondas: tudo se passou como se as ondas, por efeito de difração pelo molhe, se tornassem oblíquas à praia, provocando um transporte de sedimentos direcionado da parte com maior agitação (Sul) para a parte mais abrigada (Norte).

Quanto à estrutura do molhe em si, não há registro de manutenção ao longo dos anos e caberia identificar as características de dimensionamento a fim de verificar a vulnerabilidade da estrutura a mudanças no regime de ondas.

6.1.5. Região dos Lagos

Do Cabo Frio até a Ilha de Marambaia, a costa assume a direção Leste-Oeste e caracteriza-se por cordões duplos de restinga, o mais recuado a cerca de 7m acima do nível do mar e o mais frontal ao mar com cerca de 5m acima do nível do mar. Há uma série de lagoas costeiras (Araruama, Saquarema, Jaconé, sistema Maricá, Itaipu, Piratininga, Rodrigo de Freitas, Jacarepaguá, Marapendi). Neste trecho de costa localizam-se duas macro-regiões importantes do Estado: a Região dos Lagos e a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, no entorno da baía de Guanabara. Neste trecho situam-se as principais obras de engenharia e de aproveitamentos econômicos que seriam impactados pelas mudanças climáticas.

A Região dos Lagos recebe esse nome devido à presença de um expressivo conjunto de lagoas desde Cabo Frio em direção a oeste até Niterói, como Araruama, Pernambuco, Vermelha, Jacarepiá, Saquarema, Jaconé, Maricá, Barra, Guaratiba, Padre e Guarapina, Itaipu e Piratininga. Dessas, apenas Araruama possui conexão permanente, natural com o mar através do canal de Itajuru.

A embocadura de Saquarema manteve-se aberta naturalmente até a década de 1960 e posteriormente, devido às obstruções por pontes e aterros, tornou-se instável e, na década de 1990, foi fixada por um guia-corrente e teve seu canal dragado (Figura 55).

Em Ponta Negra, um canal escavado em rocha, mantém o acesso ao mar do sistema Maricá-Padre-Guarapina; no entanto os canais de ligação entre essas lagoas já estão fortemente comprometidos. Em Barra de Maricá, a população local eventualmente abre artificialmente a conexão entre a lagoa e o mar, como forma de promover o escoamento da lagoa para o mar, provocando o rebaixamento do nível d'água no interior da lagoa e com um benefício adicional de aumentar a produção de peixes e camarões.

Em Itaipu foi aberto um canal artificial na década de 1970, por conta de um empreendimento imobiliário que previa a construção de marina no interior da laguna (vide Figura 56); ainda hoje mantém-se aberto o canal de acesso, o empreendimento foi abandonado e, após a abertura de um canal de ligação entre as lagoas de Itaipu e de Piratininga, o nível desta última reduziu-se e o canal de ligação com o mar foi fechado.



Figura 55: Embocadura da lagoa de Saquarema: guia-corrente na praia de Itaúna, vista para Oeste da praia de Saquarema e obras no canal. (Foto: C.F. Neves, 2007).



Figura 56: Embocadura artificial da laguna de Itaipu. (Foto: C.F. Neves, 2007).

Estes sistemas lagunares são vulneráveis a variações do nível do mar, pois as oscilações de maré meteorológica, cuja escala de tempo é da ordem de 5 dias, reflete-se no interior das lagoas, embora a maré astronômica aí seja fortemente amortecida ou desprezível. Em consequência da maciça ocupação das margens das lagoas, as elevações do nível do mar (e das lagoas) se refletirão sobre as casas aí localizadas.

Outra consequência preocupante é a falta de sistema de coleta de esgotos nos municípios da Região. A conexão dos esgotos residenciais à rede de águas pluviais foi a solução adotada em todas as cidades (Figura 57). Em Cabo Frio e São Pedro d'Aldeia, esta rede é conduzida às Estações de Tratamento, evitando a contaminação dos corpos d'água, mas o mesmo ainda não ocorre em várias outras lagoas. Em caso de conjunção de maré de sizígia, maré meteorológica e chuvas fortes, o nível das lagoas se eleva e os esgotos refluem, através das tubulações de drenagem, para as ruas. A questão sanitária para a Região dos Lagos constitui certamente o problema mais sério em termos de vulnerabilidade a mudanças climáticas e variações do nível médio do mar.



Figura 57: Sistema de comportas nos canais de captação de esgotos e águas pluviais em Cabo Frio. (Foto: C.F. neves, 2007).

Observações de perfis de praia têm indicado uma grande mobilidade da praia de Massambaba mas existe uma percepção, pela sociedade, de relativa estabilidade das praias das restingas da região dos Lagos, tendo em vista a alta taxa de urbanização da faixa litorânea. Em caso de ressacas, ou seja, combinação de ondas altas e maré meteorológica, em alguns trechos a urbanização da orla avançou perigosamente em direção ao mar, cortando a possibilidade de acomodação da praia e cordão litorâneo. De fato, já há registros de destruição de quiosques construídos recentemente na Massambaba. Mais ainda, caso haja mudanças do clima de ondas, que resultem em diferentes direções de incidência, isso levará a mudanças de alinhamento das praias; por serem muito extensas e por não terem um aporte permanente de sedimentos continentais, estas pequenas mudanças podem significar recuo significativo em uma das extremidades das praias, ou então, a perda permanente de material praial para profundidades maiores.

Torna-se imprescindível o monitoramento do clima de ondas, o acompanhamento sistemático dos perfis de praias e a instalação de uma rede geodésica de marcos ao longo da restinga.

Ainda em relação a mudanças climáticas, deve-se considerar possíveis mudanças no regime de ventos, especialmente nas proximidades de Arraial do Cabo, onde, por uma questão de alinhamento da costa, existe o predomínio do transporte eólico em direção ao mar, decorrente da ação do vento nordeste. Como consequência as dunas frontais, localizadas imediatamente à retaguarda da praia, e que constituem uma reserva de sedimentos para atenuação de processos erosivos, estão sujeitos a perdas significativas de material.

6.1.6. Baía de Guanabara

A baía de Guanabara, com uma superfície de 328 km² e um volume médio de água de 1,87 x 10⁹ m³, possui uma bacia de drenagem com uma área de 4.080 km², é composta por 32 sub-bacias, sendo drenada por 45 rios e canais. Destes, apenas seis respondem por 85% da descarga média anual de 100 m³s⁻¹. As mudanças climáticas sobre a região da baía podem ser separadas pela sua origem meteorológica, hidrológica-continental e marinha.

Em termos meteorológicos, existem relatos de ventos fortes, acima de 70 a 90 km/h, com persistência de 90 minutos e acompanhados por chuvas intensas por 20 minutos, que provocaram acidentes, como o de um navio que se chocou com um pilar da ponte Rio-Niterói em 2 de janeiro de 1970. Os ventos influenciam fortemente a circulação hidrodinâmica superficial da baía e provoca empilhamentos locais de água, resultando eventualmente em retenção de descarga fluvial de pequenos rios. Conhecer e monitorar o regime de ventos, a fim de perceber tendências de variações decenais, torna-se vital para a região da baía de Guanabara, em função da presença de dois aeroportos, bases navais militares, portos e terminais de barcas. A questão da poluição atmosférica também não pode ser desprezada, assim como a formação de nevoeiro, resultante de gradientes térmicos entre a água do mar e a atmosfera, que afetam os aeroportos e serviços de transporte de barcas.

Em termos hidrológicos-continentais, não se pode ignorar mudanças no regime pluvial sobre a bacia hidrográfica da baía. O aporte de sedimentos, e seu incremento em função de desmatamentos e retificação de canais fluviais, tem provocado um substancial aumento na taxa média de assoreamento. Isto traz reflexos sobre a circulação hidrodinâmica, sobre a qualidade da água, trazendo impactos sobre a incipiente pesca e sobre as necessidades de dragagem.

Em termos oceanográficos, devem ser consideradas as variações de nível médio do mar, especialmente as de origem meteorológica, e mudanças na direção ou intensidade do clima de ondas. No primeiro caso, a inundação de áreas da baixada Fluminense e os impactos sobre o manguezal de Guapi-Mirim devem ser cuidadosamente estudados, bem como estabelecidos desde já políticas de expansão urbana ou de remoção de construções às margens dos rios. No segundo caso, verifica-se hoje em dia que as ondas de Sudeste, em condição de ressaca, provocam danos no quebra-mar da marina da Glória, no trecho do Aterro do Flamengo próximo ao monumento a Estácio de Sá e ressonância no Iate Clube do Rio de Janeiro e na própria marina da Glória, onde na década de 1980 aconteceu um acidente com uma embarcação da Marinha. Ondas de Sudoeste afetam as praias de Icaraí, Ingá e de Boa Viagem, em Niterói, mas

não há relatos de danos mais sérios. A incidência de ondas sobre as estruturas de enrocamento da Base Naval de Mocanguê e sobre o píer da base Hidrográfica, bem como sobre o aterro do Aeroporto Santos Dumont, pela posição em frente à boca da baía, são as condições mais sérias a serem consideradas em termos de mudanças de clima de ondas e elevação do nível do mar.

Já nas praias oceânicas no entorno da embocadura da baía de Guanabara, Leblon, Ipanema e Copacabana, do lado do Rio de Janeiro, e Itaipu e Piratininga, do lado de Niterói, a ação de ondas de tempestades tem causado danos há muitas décadas, resultado da ocupação indevida da faixa dinâmica das praias. Onde o estoque de sedimentos (areia) é suficientemente grande, a tempestade é dissipada através da energia consumida no transporte sólido, resultando num perfil de praia redesenhado em função dos níveis de energia vigentes. Isto se verifica em Copacabana, que sofreu um engordamento artificial na década de 1960, e em Itaipu, que ainda conserva condições naturais em função da presença de um sambaqui. O modelo urbanístico de ocupação da orla, via de regra em todo o Brasil, é a construção de uma avenida beira-mar “protegida” por um muro (de contenção do aterro da via). Desta forma, garante-se o uso público da praia e estabelece-se uma forma de contenção da ocupação urbana. Evidentemente esta não é a única solução urbanística possível, mas a colocação de uma estrutura rígida e vertical, quando submetida ao ataque direto de ondas, provoca a reflexão da energia incidente ao invés de dissipá-la. Como consequência surgem escoriações no sopé da estrutura e migração de material a partir do prisma praiar emerso para bancos submersos. Como resultado tem-se praias erodidas e estruturas danificadas, cenas essas muito corriqueiras na orla oceânica desse trecho de litoral. As imagens apresentadas na Figura 23 ilustram essa situação na praia de Piratininga em Niterói, e as da Figura 24 para a praia de Ipanema no Rio de Janeiro.



Figura 58: Imagens do efeito de ressaca na praia de Piratininga, Niterói, RJ.



Figura 59: Imagens do efeito de ressaca na praia de Ipanema, Rio de Janeiro, RJ.

6.1.7. Baixada de Jacarepaguá

Localizada a oeste da embocadura da baía de Guanabara, esta constitui a principal área de expansão urbana da Cidade do Rio de Janeiro, a partir da década de 1970. Cordões litorâneos, represando à sua retaguarda lagunas, como a Rodrigo de Freitas, no Leblon, assim como a lagoa de Marapendi e o sistema lagunar interligado de Jacarepaguá-Camoçim-Tijuca, em Jacarepaguá, são a feição geomorfológica característica.

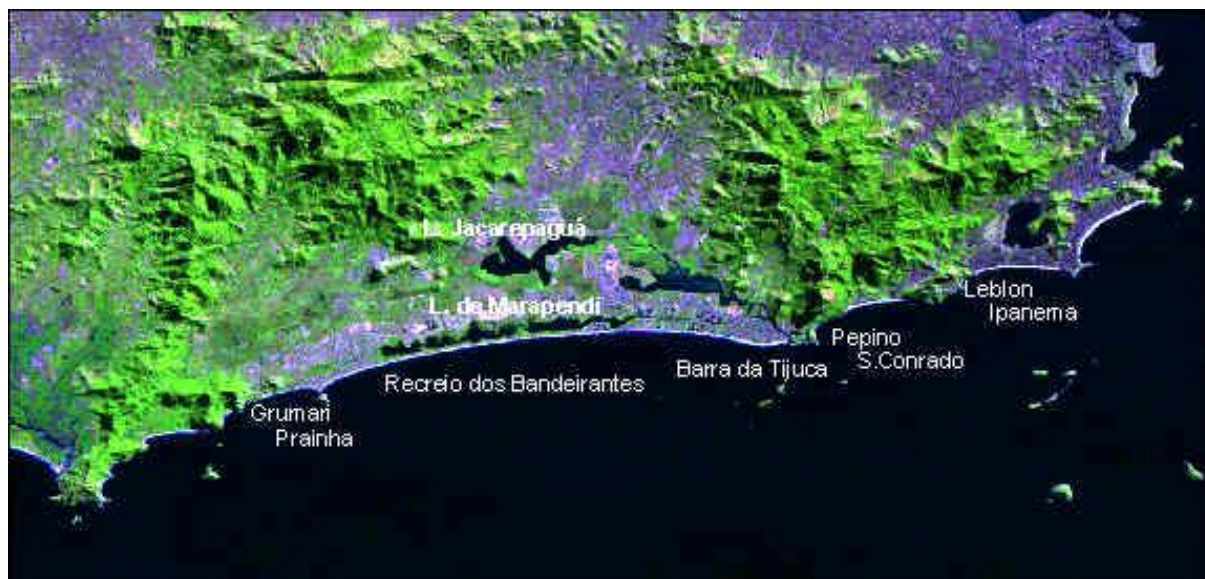


Figura 60: Baixada de Jacarepaguá, vendo-se em posição mais interiorizada o complexo lagunar Jacarepaguá-Camoçim-Tijuca e à frente a laguna de Marapendi.

A laguna de Marapendi se localiza entre os dois cordões litorâneos, não recebendo, assim, aporte de água doce e sedimentos provenientes da rede fluvial. Sua ligação com o mar se faz através de canais, abertos nas áreas colmatadas, antes ocupadas pela laguna, e que se ligam, a leste ao canal da Barra da Tijuca e a oeste ao canal de Sernambetiba. Este último, apesar da construção de um guia-corrente, tem sido bloqueado pelo acúmulo de areia na foz, exigindo dragagens freqüentes.

O funcionamento do canal de Sernambetiba e estabilidade morfológica do arco praial adjacente (praia da Macumba) foi tema de estudo realizado pela equipe de Engenharia Costeira & Oceanográfica da COPPE. (ROSMAN *et al*, 2000). Entre outros aspectos, o estudo mostrou a precária condição de drenagem que hoje em dia se verifica nesse canal resultando em transbordamento (majoritariamente pela margem esquerda) num trecho de cerca de 4km a partir de 1km da foz.

O sistema lagunar interligado de Jacarepaguá se comunica com o mar através de um canal de maré estabilizado por um guia-corrente. A deposição de sedimentos no interior das lagoas e na embocadura é um problema que poderia ser atenuado pela elevação do nível do mar, se não houvesse mudanças nos padrões de carreamento de sedimentos para as lagoas nem do aporte de sedimentos pelas ondas do mar. Trata-se portanto de uma situação que exigirá monitoramento permanente a fim de garantir a qualidade da água no interior das lagoas. É importante observar que, no caso das marés meteorológicas, pode ocorrer também o rebaixamento do nível médio do mar, eventos nos quais haveria um “esvaziamento” das lagoas, que desaguiariam no mar o material que estivesse flutuante (plantas aquáticas, lixo etc.) ou diluído, contaminando a praia adjacente.

Tanto no canal de Sernambetiba quanto no da Joatinga, os guia-correntes são vulneráveis à ação das ondas. Seria desejável que se verificassem as características iniciais de projeto do

peso dos blocos, ou pelo menos que se estimassem as condições de agitação a que eles poderiam ficar sujeitos sem sofrer dano estrutural.

A construção da Avenida Sernambetiba sobre a restinga é um dos motivos de preocupação quanto a possíveis acomodações e ajustes morfológicos da praia da Barra da Tijuca. A falta de alimentação de sedimentos, ondas altas e a ocorrência de marés meteorológicas extremas certamente poriam em risco aquela via.



Figura 61: Imagens da orla costeira na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ.

6.1.8. Baía de Sepetiba

Localizada à retaguarda da restinga da Marambaia, a baía de Sepetiba compreende uma área de 300 km². Em geral a baía é de águas pouco profundas, apresentando cerca de metade de sua área profundidades inferiores a 6 m. As menores profundidade e baixas declividades se encontram no setor leste. Na porção central uma depressão alongada atinge profundidades de até 8 m. Nesta baía localiza-se o porto de Sepetiba, as cidades de Mangaratiba, Itaguaí e Rio de Janeiro.



Figura 62: Baía de Sepetiba com a restinga da Marambaia e a baixada costeira adjacente.

A ocupação urbana na cidade do Rio de Janeiro trouxe algumas soluções inovadoras, especialmente para a porção mais a leste, em Pedra de Guaratiba (Figura 63). A construção de muros de contenção onde se criaram “terraços” de areia, como se fossem praias, permitiu a recuperação de uma orla lamosa, de pouco valor recreativo ou turístico. Construiu-se também um píer, que se alegava acabaria com o problema do desembarque dos barcos pesqueiros em situação de maré baixa. No entanto, a construção dos muros não levou em conta a ação das ondas e já se verificam alguns danos, e o píer permanece inacessível em maré baixa. Isto em parte pode ser reflexo da falta de vários dados básicos para projetos de engenharia costeira: cartografia e batimetria detalhada, referenciadas a um datum comum, medição maregráfica local que permita previsão confiável, estimativa da presença de ondas locais (geradas por vento no interior da baía).



Figura 63: Pedra de Guaratiba, município do Rio de Janeiro: urbanização do Projeto Orla e rede de coleta de esgotos junto às casas: vulnerabilidade à elevação do nível do mar e ondas no interior da baía de Sepetiba. (Fotos: Claudio Neves, 2007)

A construção de muros para contenção dos aterros ao longo das praias de Sepetiba e de Dona Luiza (Figura 64) produziu uma situação que se tornou crítica, ao final de várias décadas. A ocorrência de maré alta e de ondas de vento que eram refletidas, provocaram o solapamento dos muros, a fuga de material de aterro, a destruição das escadas de acesso à praia, entre outros problemas. Esta é uma situação em que a opção é o engordamento artificial de praia.



Figura 64: Praias de Dona Luíza, do Cardo e de Sepetiba: presença de muros refletores. Observar a destruição da escada de acesso à praia. (Fotos: Claudio Neves, 2007).

A restinga (cordão litorâneo) da Marambaia se estreita em direção ao seu segmento central a ponto de dar a impressão de rompimento iminente, impressão reforçada pela ocorrência de transposição de ondas e tendência erosiva do seu flanco lagunar (vide Figura 65). Esses são certamente indicadores de fragilidade. A ocasional transposição de ondas em ponto bem localizado resulta de abertura no campo de dunas por ação do vento (*blow out*) e não por ação de ondas, enquanto que a retrogradação do flanco lagunar do cordão ainda deixa na porção submersa um arcabouço capaz de resistir a uma ruptura que levaria à formação de um canal de maré, que seria rapidamente fechado pelo predomínio das ondas sobre a maré. Uma elevação do nível do mar combinada a ação de ondas de ressaca, no entanto, poderia romper este equilíbrio. Este seria um cenário possível de ocorrer no caso da passagem de um ciclone extratropical próximo à cidade do Rio de Janeiro, semelhante ao Catarina, ocorrido em 2004. Simulações numéricas conduzidas pelo IAG/USP e por modelos de centros meteorológicos internacionais, indicam que o segmento de costa entre o cabo de Santa Marta e o cabo Frio seriam propensos à ocorrência de ciclones com força de furacão. Não se deve minimizar tal prognóstico e seria recomendável um estudo abrangente, meteorológico, oceanográfico e costeiro, para se avaliar as consequências de um evento de tal magnitude, inclusive com a ruptura (mesmo que temporária) da restinga de Marambaia.



Figura 65: Cordão litorâneo da Marambaia. Esquerda: Transposição do cordão. Direita Erosão no flanco lagunar. (Fonte: Muehe, 2006)

6.1.9. Baía de Ilha Grande

O último segmento costeiro é constituído pela baía de Ilha Grande, caracterizada pela presença de maciços rochosos que atingem o mar, muitas ilhas e estreitas planícies costeiras cobertas de manguezais. Esse compartimento é subdividido em três corpos distintos: a Área Leste, lo-

calizada a leste da Ilha Grande até à entrada da baía de Sepetiba, a Área Oeste, correspondendo ao embaçamento a oeste da Ilha Grande, e o Canal Central, depressão estreita, alongada e profunda, localizado entre a Ilha Grande e o continente, vide Figura 66.

É uma região de grande atração turística, um parque estadual (Ilha Grande), navegação de recreio (marinas), aquíicultura, um terminal de petróleo (Petrobras), um porto (Angra dos Reis), uma central nuclear (Eletronuclear), um estaleiro e uma cidade histórica (Parati). Trata-se de um ambiente que exige a presença de um programa bastante ativo de gerenciamento costeiro, o que no entanto não ocorre.

A região é abrigada em geral das ondas, exceto algumas praias, como a de Mambucaba, (vide Figura 67), Brava e Itaorna (esta última protegida por um quebra-mar), localizadas no litoral norte do embaçamento.

O molhe na enseada de Itaorna é a principal obra de engenharia costeira na região, como proteção às tomadas d'água de refrigeração das Centrais Nucleares Almirante Álvaro Alberto. Estas estruturas têm resistido muito bem à ação das ondas, e seu desempenho é monitorado pela Eletronuclear S.A., empresa que também mantém a medição permanente do nível do mar desde 1996.

Em Mambucaba se verifica problema de galgamento das ondas, em consequência de uma urbanização inadequada, que avançou sobre a faixa dinâmica da praia. Em condições de ressaca, as ondas atingem as casas, num determinado trecho de praia de 50 a 100m de extensão. A solução encontrada foi a colocação de pedras para contenção do aterro, quando talvez se pudessem, alternativamente, recuar a urbanização daquele trecho.



Figura 66 Baía da Ilha Grande com seus três principais compartimentos.

Medições de ondas efetuadas nas proximidades de Angra dos Reis, para o projeto da usina nuclear, mostraram que a condição mais comum é de ondas de 0,5 a 1,0m vindas de sudeste. Alturas significativas máximas, de até 3 m, foram registradas no outono, tendo sido

prevista uma altura máxima significativa de até 4 m para um período de recorrência de 30 anos (HOMSI, 1978). Evidentemente, um programa de monitoramento de ondas poderia acompanhar e verificar estas informações ao longo dos anos e certamente seria desejável o conhecimento da propagação das ondas para o interior da baía e a estimativa de alturas em alguns pontos mais expostos, em função do número grande de marinas que aí foram instaladas, bem como da região de Parati e no lado oceânico da Ilha Grande.



Figura 67: Praia de Mambucaba. Erosão incipiente na escarpa da pós-praia.

7. Referências

Seguem listas de referências bibliográficas e referências via web.

7.1. Referências bibliográficas

1. ALCÂNTARA, F. & WASHINGTON, D.C., 1989. An analytical synoptic-dynamic study about the severe weather event over the city of Rio de Janeiro on January 2, 1987. In: Neves, C.F. & Magoon, O., *Coastlines of Brazil*, ASCE, p.195-208.
2. ALFREDINI, P., 2005. *Obras e Gestão de Portos e Costas*. São Paulo, Editora Edgard Blücher.
3. AMADOR, E. S. (1980). Assoreamento da Baía de Guanabara – Taxas de sedimentação. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(4):723-742.
4. BARROCAS, P.R.G. (1994). *Geoquímica do mercúrio nos sedimentos do rio São João de Mereti: sistema da baía de Guanabara*. Dissertação de mestrado, Departamento de Geoquímica, UFF, Niterói, RJ. 132 p.
5. BASTOS, A.C., 1997. *Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fluminense, entre Cabiúnas e Atafona*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFF. 133p.
6. CASSAR, J.C.M. e NEVES, C.F., 1993. Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa norte fluminense. *Revista Brasileira de Engenharia (RBE). Caderno de Recursos Hídricos*. 11(1):81-106. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, São Paulo, SP.
7. COSTA NEVES, S., 1992. *Variação da Maré Meteorológica no Litoral Sudeste do Brasil 1965-1986*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
8. COSTA, G. e NEVES, C.F., 1993. O estuário do rio Paraíba do Sul. *X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, novembro de 1993, Gramado, RS. Anais. V.2:31-40.
9. COSTA, G., 1994. *Caracterização histórica, geomorfológica e hidráulica do estuário do rio Paraíba do Sul*. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ. 97p.
10. GORINI & MUEHE, 1971. *Academia Brasileira de Ciências* 43:831. (Comunicação não publicada)
11. GUSMÃO, L.A.B., 1990. Transpasse de sedimentos na praia da Barra do Furado. Monografia de Graduação em Engenharia Civil – Obras Hidráulicas. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia, UFRJ. 210p.
12. GUSMÃO, L.A.B.; J.C. CASSAR & C.F. NEVES (1993). The Northern coast of the State of Rio de Janeiro. *Proceedings of the VIII Symposium on Coastal and Ocean Management -- Coastal Zone 93*, 19-23 de julho de 1993, New Orleans, USA.
13. HANSEN, C.M.P., 1992. *Aplicações de Engenharia Costeira à Lagoa de Araruama*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
14. HOMSI, A., 1978. Wave climate in some zones off the Brazilian coast. *16th International Conference on Coastal Engineering*. American Society of Civil Engineers – ASCE. Proceedings. p. 114-133.
15. HOWARD, M.F., 2005. Procedure Memorandum No. 37 - Protocol for Atlantic and Gulf Coast Coastal Flood Insurance Studies in FY05. U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA).

16. Intergovernmental Oceanographic Commission - IOC/UNESCO, 1999. IOC-SOA International Workshop on Coastal Megacities: Challenges of growing urbanization of the world's coastal areas. Intergovernmental Oceanographic Commission, Workshop Report 166.
17. IPCC (1994). Preparing to meet the coastal challenges. World Coast Conference 1993. Conference Report. Noordwijk, Países Baixos. Intergovernmental Panel on Climate Change / UNESCO.
18. JICA – Japan International Cooperation Agency. (1994). *The study of recuperations of Guanabara Ecosystem*. Kokusai Kogyo Co., Ltd., Tokyo. 8 vol.
19. KALIL, A.F.D., 1999. *Contribuições ao Estudo do Nível Médio do Mar no Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
20. KJERFVE, B.; C.A.F. SCHETTINI; B. KNOPPERS; G.LESSA & H.O. FERREIRA (1996). Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 42:701-725.
21. KJERFVE, B.; C.H.A. RIBEIRO; G.T.M. DIAS; A.M. FILIPPO & V da S. QUARESMA (1997). Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research* (em publicação).
22. KOPPERS, B. (1991). The transport of carbon, nitrogen and heavy metals to the offshore sediments by plancton sedimentation. *JOPS-90/91 Cruise Report*. (Brazilian German Victor Hensen Programme Joint Oceanographic Projects. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research. Bremerhave 1991. pp.25-30.
23. KOWSMANN, R.O. & M.A. COSTA (1979). *Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes*. Rio de Janeiro, PETROBRAS. CENPES. DINTEP, 1979. 55p. (Série Projeto REMAC, n.8).
24. LACERDA, L.D.; C.M.M. SOUZA & M.H.D. PESTANA (1988). Geochemical distribution of Cd, Cu, Cr and Pb in sediments along the southeastern Brazilian coast. In: *Metals in Coastal Environments of Latin America*, eds. U. Seelinger, L.D. Lacerda & S.R. Patchineelam. P.86-89. Springer, Berlim.
25. LAMEGO, A.R. (1940). *Restingas na costa do Brasil*. Rio de Janeiro. Bol. Div. Geologia e Mineralogia. 66 p. (Boletim 96).
26. LAMEGO, A.R. (1945). *Ciclo evolutivo das lagoas fluminenses*. Rio de Janeiro. DNPM. (Boletim 118).
27. LESSA, G.C. (1989). Considerações sobre o comportamento hidráulico do Canal de Itajuru-Laguna de Araruama (RJ). *Anais. III Simpósio de Geografia Física Aplicada*. Nova Friburgo, RJ. p.334-347.
28. LESSA, G.C. (1990). *Hidráulica e Sedimentação do Canal de Itajuru - Laguna de Araruama - RJ*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFRJ.
29. MACEDO, A.C.M. (1971). Testemunhos geológicos da evolução do litoral no Estado da Guanabara. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 43(3/4):832.
30. MAIA, M. DO C.; L. MARTIN; J.M. FLEXOR & A.E.G. AZEVEDO (1984). Evolução Holocênica da Planície Costeira de Jacarepaguá (RJ). *Congresso Brasileiro de Geologia*. ANAIS. XXXIII (1):105-118.
31. MARQUES, J.S. (1987). Intensificação dos Processos Responsáveis pela Sedimentação em Lagoas Costeiras – O Caso da Lagoa de Jacarepaguá-Tijuca. *II Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente*. ANAIS. V. 2. p.556-577. Rio de Janeiro, RJ.
32. MARQUES, J.S. (1990). *A participação dos rios no processo de sedimentação da baía de Jacarepaguá*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita

- Filho – UNESP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro, SP, 435p.
33. MARTIN & SUGUIO, 1989
34. MAYR, L., TENEMBAUM, D.R., VILLAC, M.C., R.PARANHOS, C.R.NOUEIRA, S.L.C.BONECKER, A.C.T.BONECKER, 1989. *Hydrobiological Characterization of Guanabara Bay*. In: Neves, C. & Magoon, O.T. (ed.). *Coastlines of Brazil*. Publish.: American Society of Civil Engineers, New York. USA.
35. MENEZES, D.C., 2007. *Contribuições metodológicas para a análise conjunta de flutuações atmosféricas e oceanográficas de baixa frequência na costa do Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 124p.
36. MOTTA, D.L.C., 2002. *Simulação numérica dos ventos Sudoeste entre a Região Litorânea do Sul da Baía de Vitória e o Norte de Cabo Frio*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
37. MUEHE D. & CARVALHO, V.G., 1993. Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, Universidade São Paulo – USP. 41(1/2):1-12. São Paulo, SP.
38. MUEHE D. & NEVES, C.F., 1995. The implications of sea-level rise on the Brazilian coast. *Journal of Coastal Research*, SI 14, Potential Impacts of Accelerated Sea-Level Rise on Developing Countries, p. 54-78.
39. MUEHE, D. & ALBINO, J., 1992. Erosão e recuperação de um pontal arenoso - Macaé (RJ). 37º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, SP, 9 a 15 de dezembro de 1992.
40. MUEHE, D. & C.H.T. CORRÊA, C.H.T., 1989b. The coastline between Rio de Janeiro and Cabo Frio. In: Neves, C. & Magoon, O.T. (ed.). *Coastlines of Brazil*. Publish.: American Society of Civil Engineers, New York. p. 110-123.
41. MUEHE, D. & CARVALHO, V. G., 1989. Morfologia e distribuição dos sedimentos na plataforma continental interna entre Saquarema e Cabo Frio. 1º Simpósio sobre Oceanografia. Resumos. p. 87-58. São Paulo, SP.
42. MUEHE, D. & CORRÊA, C.H.T., 1989a. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos ao longo da restinga de Maçambaba. *Revista Brasileira de Geociências*. 19 (3) : 387-392.
43. MUEHE, D. & IGNARRA, S., 1984. Arenito de praia submerso em frente à praia de Itaipuaçu – RJ. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia – SBG, Rio de Janeiro, RJ, p.341-348.
44. MUEHE, D. & NEVES, C.F., 2005. Impactos das mudanças climáticas nas zonas costeiras. In: Mudança do Clima, Vol. 1, Cadernos NAE, no. 3, p.187-194.
45. MUEHE, D. & VALENTINI, E., 1998. *O Litoral do Estado do Rio de Janeiro – Uma Caracterização Físico-Ambiental*. Rio de Janeiro. Editora FEMAR.
46. MUEHE, D. (organizador), 2006. *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Programa de Geologia e Geofísica Marinha – PGGM. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente.
47. MUEHE, D., 1971. Subsídios ao estudo da geomorfologia costeira da praia dos Bandeirantes - restinga de Jacarepaguá. *Revista Brasileira de Geografia*, 33(2):103-136.
48. MUEHE, D., 1979. Sedimentology and topography of a high energy coastal environment between Rio de Janeiro and Cabo Frio, Brazil. *Anais. Academia Brasileira de Ciência*, 51(3):473-481.
49. MUEHE, D., 1982a. *Küstenentwicklung und sedimentation im Bereich der Brasilianischen Randtropen – Untersuchungen zwischen Rio de Janeiro und Ponta Negra*. Tese de doutorado. Universidade de Kiel, Alemanha. 132p.
50. MUEHE, D., 1982b. *Evidence of landward translation of beach barriers east of Guanabara bay*. In: Latin American Regional Conference. Rio de Janeiro. Abstracts. International Geographical Union.

51. MUEHE, D., 1984. Evidências de recuo dos cordões litorâneos em direção ao continente no litoral do Rio de Janeiro. In: *Restingas: origens, estruturas, processos*. Lacerda et al. (orgs.). *Anais do Simpósio sobre Restingas Brasileiras*. UFF. Niterói, RJ, 10-14 dezembro 1984. p. 75-80.
52. MUEHE, D., 1989. Distribuição e caracterização dos sedimentos arenosos da plataforma continental interna entre Niterói e Ponta Negra, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, 19(1):25-36.
53. MUEHE, D., 1992. Meeresspiegelerhöhung und Küstenerosion in Brasilien. In: Kuhnt, G. & Zölitz-Möller, R. (ed.), *Beiträge zur Geoökologie aus Forschung, Praxis und Lehre*, 104-114. Kie-ler Geographische Schriften, Band 85. Geographisches Institut der Universität Kiel.
54. MUEHE, D., 1994. Lagoa de Araruama: geomorfologia e sedimentação. *Caderno de Geociências*, 10:53-62. IBGE. Rio de Janeiro, RJ.
55. MUEHE, D., 1995. Geomorfologia Costeira. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (org.). *Geomorfo-logia: uma atualização de bases e conceitos*. Editora Bertran Brasil S.A. p.253-308. 2ª edição.
56. MUEHE, D., 1996. Caracterização físico-natural da plataforma continental interna e área costeira adjacente. In: MMA/UFRJ/FUJB/LAGET. *Macrodiagnóstico da zona costeira do Brasil na esca-la da União*. p. 83-100.
57. MUEHE, D., 1998a. O litoral brasileiro e sua compartimentação. Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. organizadores. *Geomorfologia do Brasil*. Capítulo 7. Editora Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro, RJ. (Em publicação).
58. MUEHE, D., 1998b. Geomorfologia do litoral sul do estado do Rio de Janeiro. In: Mitchell, G. (org.). *Baía da Ilha Grande em perspectiva*. Eletronuclear/UFRJ. (Em publicação).
59. MUEHE, D., 1998c. *Morfodinâmica de praias e meiofauna no litoral centro oriental do Rio de Janeiro*. Projeto FUJB/Geociências/Petrobras. Contrato Petrobras nº 650.2.127.949; Proc. FUJB 5541-7. Relatório técnico não publicado.
60. MUEHE, D.; MARANHÃO, V. de A.; RIBEIRO Jr, R.N.; SOUZA, J.R.F. de & COSTA, M. das G.F. da , 1977. Características texturais dos sedimentos de algumas praias do litoral sul-oriental do Estado do Rio de Janeiro. *An. Academia Brasileira de Ciências*. 49(3):435-441.
61. NEVES, C.F. & MUEHE, D., 1995. Potential impacts of sea-level rise on the Metropoli-tan Region of Recife, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 14, Potential Impacts of Ac-celerated Sea-Level Rise on Developing Countries, p. 116-131.
62. NEVES, C.F. e MAGOON, O. (editores), 1989. *Coastline of Brazil*. American Society of Civil Engineers, New York.
63. NEVES, C.F.; VALENTINI, E.; ROSMAN, P.C.C., 1992. Engenharia costeira e desen-volvimento sustentável na zona litorânea. In: *O Ambiente Inteiro*, por Tânia Maciel, edito-ra. Rio de Janeiro, Ed. UFRJ.
64. NEVES, S.C., 1992. Variação da Maré Meteorológica no Litoral Sudeste do Brasil: 1965-1986. Tese de Mestrado defendida em 04/92 na Área de Engenharia Costeira & Oceano-gráfica do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ.
65. OCDE (1995). *Gestion de Zonas Costeras*. Ed.MundiPrensa, Madrid.
66. OLIVEIRA, M.A. de C. (1996). *Utilização de documentos cartográficos na avaliação de proces-sos de sedimentação em ambientes estuarinos. Um estudo de caso na baía de Guanabara (RJ. Brasil)*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFRJ.124p.
67. PAIVA, A.M., 1993. *Estudo das variações do nível médio do mar em Arraial do Cabo, RJ*. Relatório FAPERJ. Rio de Janeiro, RJ.
68. PANOSSO, R.F.; J.L. ATTAYDE; D. MUEHE & F.A. ESTEVES (1998). Morfometria de quatro lagunas fluminenses: implicações para seu funcionamento e manejo. *Oecologia Brasiliensis*. Pro-grama de Pós-Graduação em Ecologia. Instituto de Biologia – UFRJ. (Em publicação).
69. PARENTE, C.E., 1999. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

70. PIRAZZOLI, P.A., 1986. *Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records*. Journal of Coastal Research, SI 1, p.1-26.
71. REGO, V.S., 1992. *Refração-difração de ondas irregulares: Aplicação à praia de Ipanema-Leblon*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 100p.
72. ROSMAN, P.C.C. & VALENTINI, E., 1989. Recent erosion in the 'stable' Ipanema-Leblon beach in Rio de Janeiro. In: Neves, C.F. & Magoon, O. (editores), *Coastlines of Brazil*, American Society of Civil Engineers, New York, USA. p.278-291.
73. ROSMAN, P.C.C., VALENTINI, E., VINZÓN, S., 2000. *Estudos de Estabilização da Barra do Canal de Sernambetiba e Recuperação da Praia da Macumba, Rio de Janeiro – RJ*. Cooperação Técnica em Projetos nas Bacias Hidrográficas do Município do Rio de Janeiro. Relatório PENO-0556. Fundação Coppetec. Rio de Janeiro, Maio, 2000.
74. RUELLAN, F., 1944. Evolução geomorfológica da baía de Guanabara e regiões vizinhas. *Revista Brasileira de Geografia*, V1(4):445-508.
75. SAAVEDRA, L. & MUEHE, D., 1993. Innershelf morphology and sediment distribution in front of Cape Frio – Cape Buzios embayment. *JOPS-I Workshop, Brazilian German Victor Hensen Programme Joint Oceanographic Projects*, Niterói, RJ. p.29.
76. SILVA, A. S., 1997. *Efeitos da Morfologia Continental Sobre a Distribuição dos Ventos Locais no Litoral Entre o Cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
77. SILVA, G. N., 1992. *Variações de Longo Período do Nível do Mar: Causas, Consequências e Metodologia de Análise*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
78. SOUZA, M.H.S., 1988. *Clima de ondas no Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 181p.
79. TITUS, J.G., (editor), 1989^a. *Changing Climate and the Coast. Volume 1: Adaptive responses and their economic, environmental, and institutional implications*. U.S.Environmental Protection Agency.
80. TITUS, J.G., (editor), 1989^b. *Changing Climate and the Coast. Volume 2: Western Africa, the Americas, the Mediterranean basin, and the rest of Europe*. U.S.Environmental Protection Agency.
81. UAISSONE, A.R.J., 2004. *Influência das Forçantes Atmosféricas em Mesoescala sobre o Nível Médio do Mar em Piraquara, RJ*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
82. VALENTINI, E. & MUEHE, D. 2000. Recuperação do Canal da Barra do Furado e Litoral Adjacente. *Anais. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. ENES. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. Santa Maria, RS.
83. VALENTINI, E. & NEVES, C.F., 1989. The coastline of Rio de Janeiro from a coastal engineering point of view. In: Neves, C. & Magoon, O.T. (ed.). *Coastlines of Brazil*. Publish.: American Society of Civil Engineers, New York. USA.
84. VALENTINI, E. & NEVES, C.F., 1993, Projeto Litoral-Rio. *Anais. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Gramado, RS.
85. VALENTINI, E; (1993). *Relatório de impacto ambiental na praia de São Brás - Mangaratiba, RJ*. Relatório Técnico. Geoprojetos Engenharia. Ltda. Para: Portotel Resorts e Hoteis. Rio de Janeiro, RJ.
86. VALENTINI, E; CASSAR, J.C.M. & GUSMÃO, L.A.B., 1993. *Dimensionamento de volumes de aterro para engordamento da praia de São Brás, Mangaratiba, RJ*. Relatório Técnico. Aquamodelo (Incubadora de Empresas da COPPE). Para: Portotel Resorts e Hoteis. Rio de Janeiro, RJ.

87. VALENTINI, E. & ROSMAN, P.C.C., 1989. *Parecer sobre o emissário de esgotos da Barra da Tijuca – RJ*. Relatório Técnico. Coppetec: ET-s/n.(dativo). Para: Associação de Moradores da Barra da Tijuca – AMABARRA. Rio de Janeiro, RJ.
88. VALENTINI, E., 1986. *Estudo da erosão da praia de Mambucaba*. Relatório Técnico. Coppetec: ET-17121. Para: Furnas Centrais Elétricas S.A.
89. VALENTINI, E.; CASSAR, J.C.M. & GUSMÃO, L.A.B., 1995. A praia de São Brás, Mangaratiba -RJ: Antes e depois de sua recuperação, *XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, Recife/PE, novembro de 1995.
90. VALENTINI, E.; CASSAR, J.C.M. & GUSMÃO, L.A.B., 1995. Man made erosion in the São Brás pocket beach and its restoration. *IV International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*. Rio de Janeiro/RJ, setembro de 1995.
91. VALLEGA, A., 1992. *The Changing Waterfront in Coastal Area Management*. Franco Angeli, Milano.
92. VALLEGA, A., 2001. Urban waterfront facing integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 44, 379-410.
93. VIOLANTE-CARVALHO, N.V., 1998. *Investigação sobre a evolução do clima de ondas na Bacia de Campos e a correlação com as situações meteorológicas associadas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ. 180p.

7.2. Referências via web

94. CHM – Centro Hidrográfico da Marinha – páginas de previsão de maré (astronômica), acesso ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos e informações meteorológicas em áreas oceânicas. <http://www.chm.mar.mil.br>
95. CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Clima – páginas de previsão de tempo, de clima e de estado de mar. <http://www.cptec.inpe.br>
96. DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação – página do Programa GLOSS/Brasil. Para consultas sobre Serviços Oceânicos, acessar a página do CHM. <http://www.dhn.mar.mil.br>
97. GLOSS – Global Sea Level Observing System – programa coordenado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC/UNESCO) no quadro geral do Programa GOOS, que propõe uma rede mundial de informações sobre o nível do mar <http://www.pol.ac.uk/psmsl/programmes/gloss.info.html>
98. GOOS – Global Ocean Observing System – programa coordenado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (IOC/UNESCO) que reúne várias ações de monitoramento oceânico em escala planetária, produzindo informações necessárias a governos, indústria, ciência e sociedade em geral <http://ioc.unesco.org/goos>
99. IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission – órgão da UNESCO que coordena ações e programas de pesquisa e monitoramento dos oceanos
100. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – órgão do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) <http://www.ipcc.un.org>
101. Permanent Service for Mean sea Level (PSMSL) – banco de dados mundial de informações sobre o nível do mar <http://www.pol.ac.uk/psmsl/>

Rio de Janeiro, 12 de Dezembro 2007.



Prof. Paulo C. C. Rosman
COORDENADOR DO PROJETO
pccrosman@ufrj.br

Prof. Sérgio Hamilton Sphaier
COORDENADOR
PROGRAMA DE ENGENHARIA OCEÂNICA
www.oceanica.ufrj.br

Segen Farid Estefen
DIRETOR EXECUTIVO
FUNDAÇÃO COPPETEC
www.coppetec.coppe.ufrj.br