U F R J

D a n i e l F e r n a n d e s

EROSÃO COSTEIRA NA PRAIA DA TARTARUGA MUNICÍPIO DE RIO DAS OSTRAS (RJ)

trabalho de conclusão de curso
(Bacharelado em geologia)

UFRJ
2008

U F R J

Daniel Fernandes

Trabalho final de conclusão de curso-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, (Geologia).

Orientadores:

Dr. João Wagner Alencar Castro

EROSÃO COSTEIRA NA PRAIA DA TARTARUGA MUNICÍPIO DE RIO DAS OSTRAS (RJ)

Daniel Fernandes

Trabalho final de conclusão de curso-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, (Geologia).

Orientadores: Dr. João Wagner Alencar Castro

Aprovada em 03 de março de 2008 por:

_____
Prof.Dr João Wagner Alencar Castro

_____
Prof.Dra Cícera Neysi de Almeida

_____
Prof.Dr José Mario Coelho

Dedico este trabalho a minha companheira Roberta,
que durante seis anos sempre foi carinhosa e coompreensiva.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a minha família, pelo apoio, carinho e compreensão durante essa longa caminhada.

Agradeço também ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. João Wagner Alencar Castro pelo suporte e pelos conhecimentos adquiridos.

Ao amigo e “irmão” Davy por toda sua paciência e apoio

“Na natureza, nada se cria”,
nada se perde,
tudo se transforma“

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794,)

Resumo

A presente monografia teve como objetivo geral estudar os processos erosivos nos últimos trinta anos na praia da tartaruga, município de Rio das ostras, nordeste do estado do Rio de Janeiro. O estudo tem com base metodológica a revisão bibliográfica, clima de ventos e de ondas, analise de mudança de linha de costa apartir de fotos aéreas de diferentes datas e coleta de sedimentos para analises laboratoriais. Os resultados indicam que o processo de erosão costeira é fortemente influenciado por condicionantes fisiográficos, climáticos e oceanográficos, bem como por intervenções antrópicas, através da urbanização da orla, e construção de barragens, alterando a disponibilidade sedimentar. Resultados da analise granulométrica e textural indicam que a praia é composta por sedimentos de granulométrica média a grossa, e baixa a moderada maturidade textural, formada por areias de origem fluvial e plataformal.Diante das condições de clima de ondas, nos pontos de monitoramentos mais abrigados da praia, os perfis apresentaram menor taxa de recuo. Os resultados do geoprocessamento de posições de linha de praia confirmam retrogradação ao longo do arco praial.

Palavras-chave: Erosão, ondas, urbanização, Rio das Ostras.

ABSTRACT

The aim of this dissertation was to avail the geological risk situation (coastal erosion) at tartarugas beach, Rio das Ostras city, Rio de Janeiro state, Brazil, with identification of erosional process. The study was based in wind and wave climate, bibliograph revision , sediment analizis and long-term changes on beach line position. The results indicate that process has strong influence of morphology, climate an oceanography factors, while human interventions modifies sediment budget. Better-protected sites have a less erosional process result of temporal beach line positions indicates. With these results the tartarugas beach was identified with geological risk

***Key Words**: erosion, waves, human interventions, Rio das Ostras.*

SUMARIO

RESUMO.....6

ABSTRACT.....7

1. INTRODUÇÃO.....10

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....11

2. OBJETIVOS E METAS.....11

2.1 Objetivo Geral.....11

2.2 Os objetivos específicos.....11

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....12

3.1 Sistema praial seus setores.....12

3.2 Profundidade de fechamento do perfil.....13

3.3 Dinâmica costeira.....13

3.4 Analise morfodinâmica.....14

4. DIAGNOSTICO AMBIENTAL.....18

4.1. Caracterização climatológica.....18

4.2. Clima de ondas.....18

4.3. Hidrografia Fluvial e Descarga Sedimentar.....19
4.3.1. Bacia do Rio das Ostras.....20
4.3.2. Bacia do Rio Macaé.....20
4.3.3. Bacia do Rio São João.....20
4.3.3.1. Reservatório de Juturnaiba.....21

4.4 Geologia Costeira.....21

5. MATERIAL E MÉTODO.....22

6. RESULTADOS.....24

6.1. Clima de Ondas:.....24

6.2. Diâmetro Mediano do Grão (D50) mm.....25

6.3. Geoprocessamento.....26

7. DISCUSSÃO.....27

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....35

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....36

1. Introdução

As praias compreendem um dos ambientes geológicos mais dinâmicos e sensíveis do planeta. São compostas de material inconsolidado, como areias e cascalho, e agem como uma proteção natural do continente contra o ataque erosivo das ondas. No entanto, o uso intensivo desses ambientes tem gerado conflitos de uso e muitos impactos ambientais destacando-se a erosão costeira (Souza *et al.* 2005). Embora as atividades antrópicas sejam importantes causas de erosão, os processos naturais são muitas vezes desencadeadores do fenômeno, em especial a atual elevação do nível eustático do mar. Assim, para que seja possíveis a conservação e preservação desse ambiente é necessárias a compreensão da sua dinâmica sedimentar e dos mecanismos naturais e antrópicos que desencadeiam e ou aceleram a erosão costeira, que por sua vez, dependem do entendimento dos processos costeiros e dos agentes atuantes. Aproximadamente 70% das costas arenosas do mundo estão sofrendo erosão, 10% estão sujeitas a progradação, e o restante 20% encontra-se em relativa estabilidade. Segundo Bird (1986) a erosão costeira pode ser produto de mecanismos como: elevação do nível do mar, instabilidade tectônica, mudança de posição do geóide, mudanças climáticas, e causas antrópicas.

No litoral do Estado do Rio de Janeiro o processo erosivo das praias relaciona-se a ação de ondas de tempestades provenientes dos quadrantes sudoeste e sudeste e a diversas ações antrópicas na linha de costa, entre estas, obras de engenharia, urbanização e construções de barragens. Nas ultimas duas décadas, a praia das Tartarugas em Rio das Ostras vem passando por intenso e acelerado processo erosivo. A maior parte da orla costeira encontra-se em estágio avançado de urbanização. A construção da ciclovia e a ampliação da rodovia Amaral Peixoto sobre a zona de pós-praia provocaram a ruptura do balanço sedimentar e a conseqüente erosão da linha de costa (Fernandes, 2007). Soma-se a este fato a construção da barragem de Juturnaiba no município de Silva Jardim que retêm grandes volumes de sedimentos a montante, alterando assim, o balanço sedimentar das praias a jusante.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo localiza-se na margem da Rodovia Amaral Peixoto a 177km a nordeste da cidade do Rio de Janeiro, na cidade de Rio das Ostras entre as coordenadas geográficas 22º 31' 37" de latitude e 45º 56' 42" de longitude (Figura 1.)

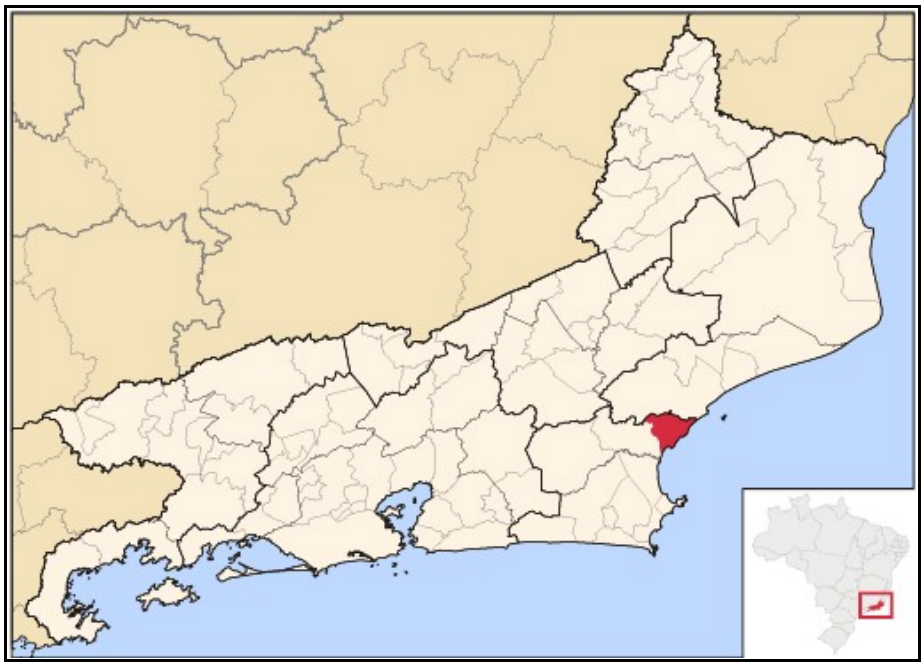

Ilustração 1 - Localização do município de Rio das Ostras.

2. Objetivos e metas

2.1 Objetivo Geral.

O presente trabalho de graduação tem como objetivo estudar as causas e conseqüências dos processos erosivos registrados em Rio das Ostras a partir da compreensão da dinâmica sedimentar,

2.2 Os objetivos específicos

- ✓ Identificar os setores submetidos à erosão costeira através de geoindicadores sedimentológicos (material grosso) e interpretar a natureza dos processos, de

modo a subsidiar uma avaliação das áreas submetidas a risco geológico (erosão costeira);

- ✓ Estudar a taxa de recuo de linha de costa entre diferentes períodos;
- ✓ Investigar os diferentes fatores ambientais que controlam a posição da linha de costa de modo a fornecer uma base cientifica para o manejo do problema da erosão costeira;

3. Fundamentação Teórica

3.1 Sistema praial seus setores

O sistema praial pode ser subdividido em zonas ou setores. Geralmente é representada em duas (2) dimensões e, por meio da diferenciação dos ambientes e respectivos processos ao longo de um perfil transversal a linha de costa. Este perfil é limitado na parte superior pela linha de vegetação permanente ou qualquer alteração fisiográfica brusca (falésias, dunas ou estruturas construídas pelo homem), e como limite inferior pelo nível base de ação de ondas ou profundidade de fechamento. Abaixo desta área, no sentido do mar aberto, localiza-se a zona de transição (transition zone), cujo limite inferior é o nível base das ondas de tempestade e a zona de costa - afora (off shore), onde se inicia a plataforma continental interna.

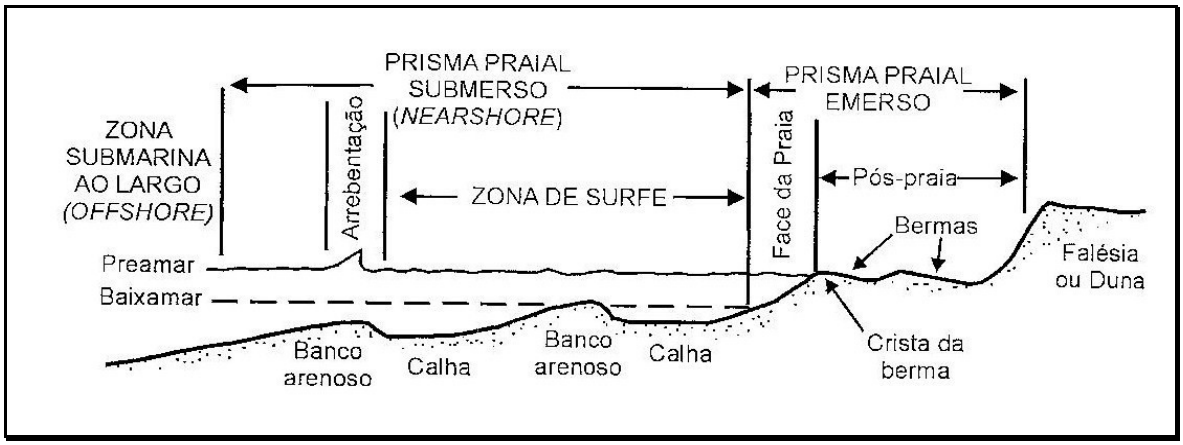

Ilustração 2- Subdivisões morfológicas do perfil de praia (Suguio, 1992 *apud* Silva *et al*,2004).

Os setores ou zonas do sistema praial incluem:

-Pós-praia (backshore); zona que se estende do nível do mar na maré alta sizígia até a base de uma falésia, dunas, terraço marinho, linha de vegetação constante.
-Estirancio (foreshore); zona praial situada entre o nível do mar na maré alta sizígia e o nível do mar na maré baixa sizígia.
-Face litorânea (shoreface); zona compreendida entre o nível do mar na maré baixa sizígia e o nível de base de ação de ondas de tempo bom.
-Praia subaérea; zona que se estende do ponto da ultima quebra de onda normal na face da praia até o limite máximo de ação do espraiamento das ondas de tempestade. Englobando a pós-praia e parte do estirancio.
-zona de surfe zona que se estende da primeira linha de arrebentação de ondas até o ponto de ultima quebra de ondas sobre a face da praia.
-Zona próxima à praia (near shore zone); zona compreendida entre o nível de base de ação de ondas de tempo bom e a primeira linha de arrebentação de ondas

3.2 Profundidade de fechamento do perfil

O limite externo, em direção ao oceano, e interno, em direção ao continente, são determinados respectivamente pela profundidade em que as ondas passam a provocar movimentos efetivos no sedimento e pelo limite superior de ação das ondas de tempestade sobre a costa (Hoefel 1998). Para encontrar a profundidade de fechamento do perfil de praia, Hallermeier propôs em 1981 a idéia do limite externo de mobilização de sedimentos pela ação das ondas incidentes, delimitando assim o sistema praial e seus setores ou zonas. Na equação Hallermeier *op cit* relaciona a profundidade de fechamento com a altura significativa das ondas mais freqüentes.

$D = 2Hs + 11\sigma$

Onde:

D é a profundidade de fechamento;

Hs é a altura significativa das ondas incidentes;

σ é o desvio padrão;

3.3 Dinâmica costeira

A região praial constitui uma área de contínua alteração morfodinâmica, provocada por processos de origem continental e marinha (Silva *et al.* 2004).

Processos morfodinâmicos que atuam na linha de costa são responsáveis pela modelagem costeira, seja através da destruição (erosão) ou construtiva (deposição).

Segundo Silvester e Hsu, (1993), a alta dinâmica da costa é ocasionada pela atuação de processos marinhos, como ondas e correntes, sendo as ondas as responsáveis pelo maior input de energia nas regiões costeiras (Dean e Dalrymple, 1991).

Ao se aproximarem das regiões costeiras, devido aos efeitos da batimetria, as ondas começam a serem refratadas, sendo que a porção da crista que atinge primeiro uma profundidade menor, sofre uma desaceleração em relação à porção que ainda vem se deslocando. Isto tende a promover uma inflexão da crista da onda, caracterizando a refração (Silva *et al.* 2004).

A refração é responsável pelo alinhamento da zona de arrebentação de tal modo que ela tende a ser paralela a praia (Suguio, 2003).

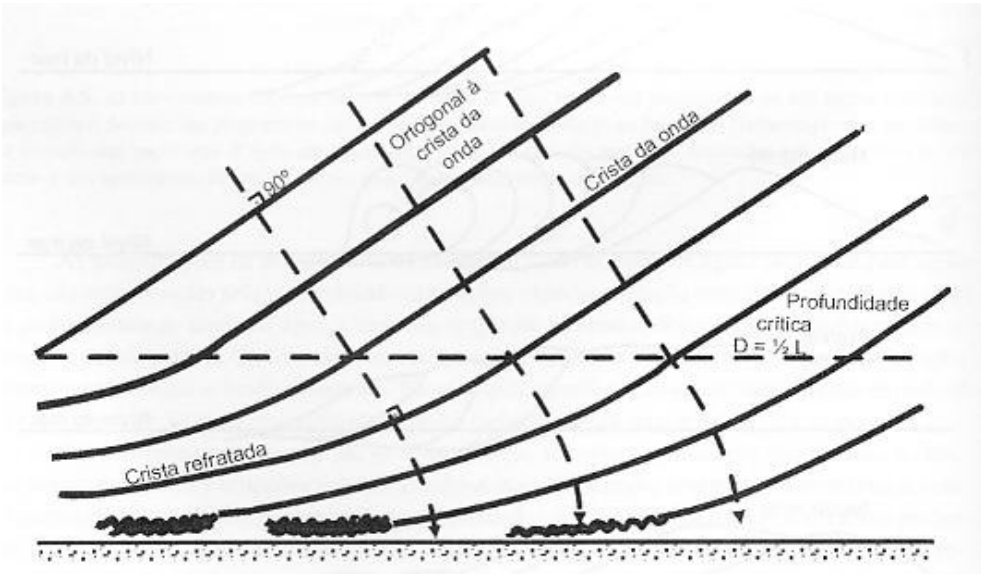

Ilustração 3 - Fenômeno da refração de ondas ao se aproximarem da costa, fonte: Silva *et al*. 2004

3.4 Analise morfodinâmica

O estado morfodinâmico de uma praia é função de uma série de fatores interdependentes, que condicionam o equilíbrio morfológico-dinâmico do sistema

(Weschenfelder, 2002).

O perfil praial apresenta alta capacidade de remodelamento quando sujeito às mudanças ambientais em escalas de tempos variados, como visto por Brunn em 1962, que avaliou a adaptação do perfil a uma elevação do nível do mar

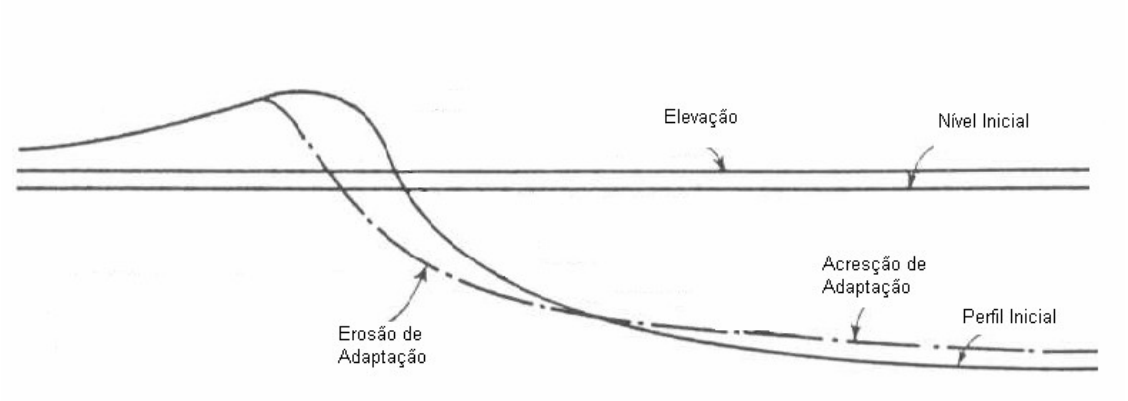

Ilustração 4 - Adaptação do perfil praial a mudanças no nível do mar. Fonte: Brunn, 1962.

Em escala de tempo curto, as mudanças ocorrem pela adaptação dos perfis às condições meteorológicas, oceanográficas e estruturais impostas pelo ambiente. O comportamento praial é o resultado da freqüência de ocorrência das ondas que mais atingem o litoral, que por sua vez é determinado pela declividade da praia e da zona submarina, que irá promover um padrão sedimentar para praias construtivas e erosivas, verão e inverno respectivamente (Wright e Short, 1984).A variação do perfil ocorre com a passagem de uma frente fria quando grandes ondas, induzidas por fortes ventos, retiram sedimento fazendo recuar a faixa de areia da praia, depositando-os na antepraia intermediária e inferior na forma de bancos, resultando em um perfil de concavidade voltada para cima. A intensificação ou permanência da condição meteorológica ocasiona o distanciamento do sistema de bancos para mais longe da costa, muitas vezes não permitindo que as ondas de tempo bom retornem com o sedimento para a costa, caracterizando a perda dos sedimentos.

Após a passagem da frente fria, as ações de ondas mais fracas conduzem o sistema de bancos em direção à costa, fazendo com que o material erodido retorne à praia. Com a modificação do perfil em ocasiões de intensificação energética é possível avaliar o comportamento do mesmo ao longo do tempo. Perfis construtivos apresentam sedimentos classificados como grossos; esses sedimentos, devido ao arcabouço intersticial, permite a

alta infiltração de água formando fluxo de retorno da onda superficial e abaixo do sedimento. Quando ocorre intensificação do regime de ondas esses sedimentos são retirados da face da praia, ocasionando a diminuição da declividade, e são depositados na forma de banco na zona submersa adjacente.

Essas bancos promovem a diminuição da profundidade e deslocamento da zona de arrebentação para mais longe da linha de costa, ocasionando mudanças no tipo de arrebentação das ondas que chegam à face da praia, selecionando sedimentos mais finos, acarretando a diminuição dos tamanhos dos sedimentos na face praial. Essa diminuição dá condições para ocorrer o transporte dos mesmos pelos ventos, sendo depositados no continente em locais onde os ventos encontram algum obstáculo e perdem competência depositando os sedimentos na forma de dunas frontais. Essa perda de sedimento não é muito problemática em locais sem a interferência antrópica, pois as dunas, como visto, servem de deposito sedimentar para as praias, mas em locais com ocupação, esse sedimento depositado é retirado e a praia não terá mais como contar com esse suprimento perdido. O processo erosivo caracterizado acima pode ser reversivo, uma vez que a energia do ambiente diminua, os sedimentos mais grossos retirados da praia inicial e colocados na região submersa são novamente trazidos para próximo à costa e soldado ao perfil emerso, fazendo com que o mesmo adquira a forma passada com alta declividade, modificando também a porção submersa que se tornará mais profunda e retornando o tipo de quebra da onda. Como idéia principal, entende-se que o perfil praial é modelado por efeitos hidro-sedimentológicos, e procura encontrar um novo equilíbrio. Quando esses efeitos mudam ao longo do tempo. A constatação de que as formas praiais estão em equilíbrio hidro-sedimetológico levou diversos pesquisadores a uma classificação a partir de uma abordagem morfodinâmica. O estudo da evolução do perfil transversal culminou com a elaboração de inúmeros modelos dentre um dos mais aceitos está o publicado por Wright e Short (1984), que analisando uma série de praias australianas elaboraram um modelo evolutivo baseado na descrição de seis estados morfodinâmicos, sendo dois extremos e quatro tipos intermediários formados por elementos de ambos os extremos.

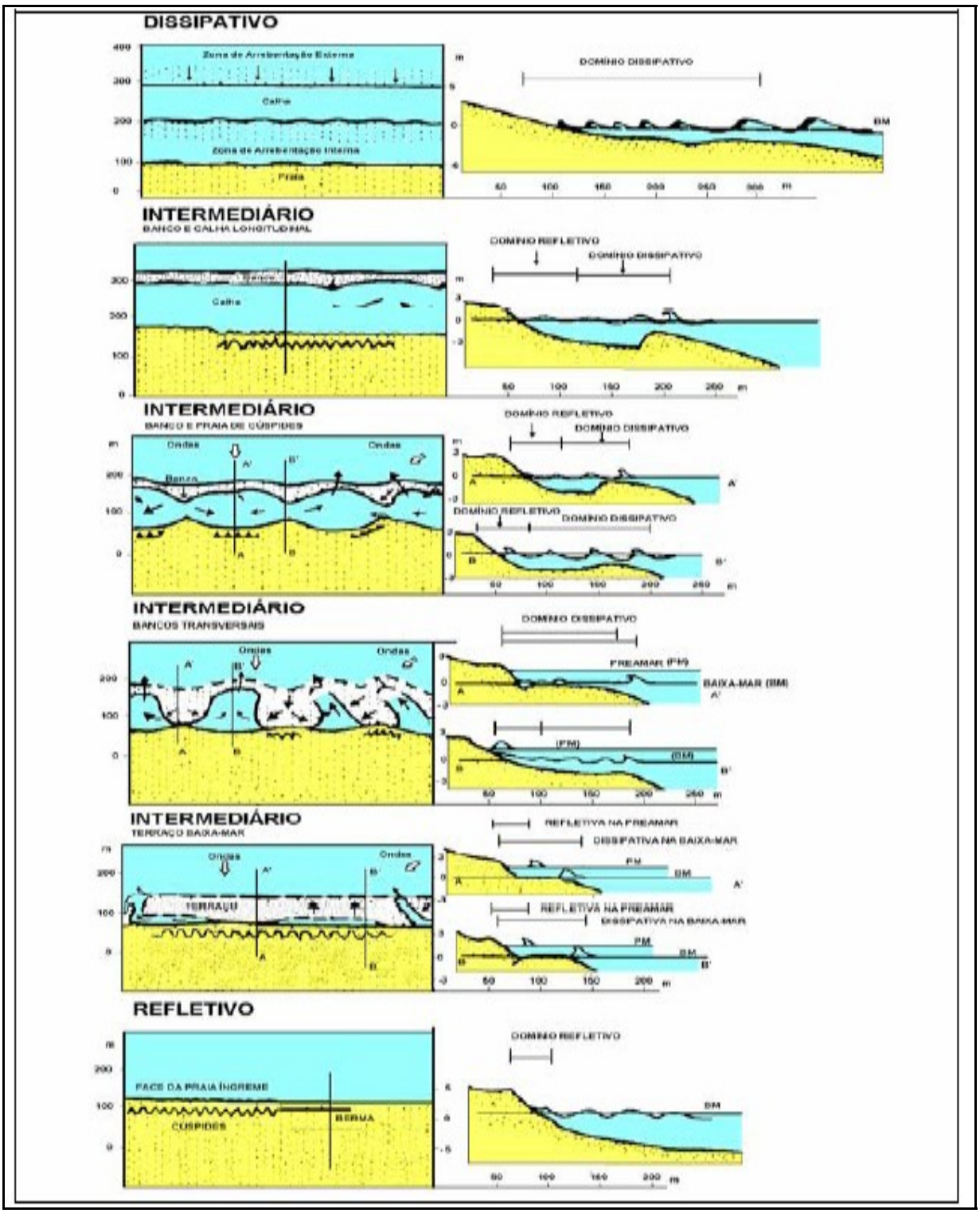

Ilustração 5 - Perfis de estabilidade de praia, Wright e Short (1984),

4. Diagnostico ambiental

4.1. Caracterização climatológica

Durante todo o ano o litoral da região estudada é dominado pelo anticiclone semifixo do atlântico sul, sentido através da ação de ventos do quadrante leste-nordeste e sudeste, oriundos deste anticiclone. Essa massa de ar apresenta pressões e temperaturas relativamente elevadas, fornecidas pela intensa radiação solar das baixas latitudes e elevada umidade devida à intensa evaporação. A ação desse anticiclone mantem a estabilidade do tempo, que somente cessa com a chegada das "correntes perturbadas". Estas correntes são responsáveis pela instabilidade do tempo na região sudeste, em particular no estado do Espírito Santo, e compreendem três sistemas de correntes perturbadas, do sul e oeste, e em menor escala do leste. Estes dados correspondem à estação climatológica de Macaé, localizada a cerca de 40km a noroeste de Rio das Ostras. Os ventos que chegam na região são oriundos de frentes frias mais freqüentes nos quadrantes S e SE, sendo que a posição dessas frentes em latitudes mais baixas implica em ventos de direção SE. Dados coletados em escala anual pela estação meteorológica mantida pela Companhia de Álcalis (Arraial do Cabo) apontam que a freqüência dos ventos de nordeste na região está na ordem de 40% (Rangel, 2005). Característica peculiar resultante da circulação atmosférica na região é a ocorrência do fenômeno da ressurgência. Os ventos de nordeste deslocam a camada superficial dos oceanos, fazendo com que águas geladas se eleve à superfície. A presença de águas geladas na superfície do oceano Atlântico na região remete a ocorrência de clima-semi-árido. Estudo detalhado sobre a ocorrência do fenômeno da ressurgência e reconstituição paleoclimática por análise de bioindicadores lagunares é apresentado por Laslandes *et al.* (2006).

4.2. Clima de ondas

Os dados referentes ao clima de ondas da região foram obtidos através da Marinha do

Brasil, correspondente às estações localizadas na Bacia de Campos, entre o período de 1963-1999. Os dados referem-se à direção de vento, velocidade do vento, período de ondas e altura de ondas. Observou-se que a maior freqüência de ondas provêm da direção nordeste (70%), seguido leste (15%) e sudeste (15%). O período de ondas (t) está entre 5 e 7 s, predominantemente sea (vagas), com altura de 1,3 a 2,0 m. Segundo a publicação inglesa Global Wave Statistic, os trens de ondas de direção leste e sudeste no setor 74 (Rio das Ostras) são mais efetivos na remobilização dos sedimentos, devido à alta energia ao incidir sobre a face da praia.

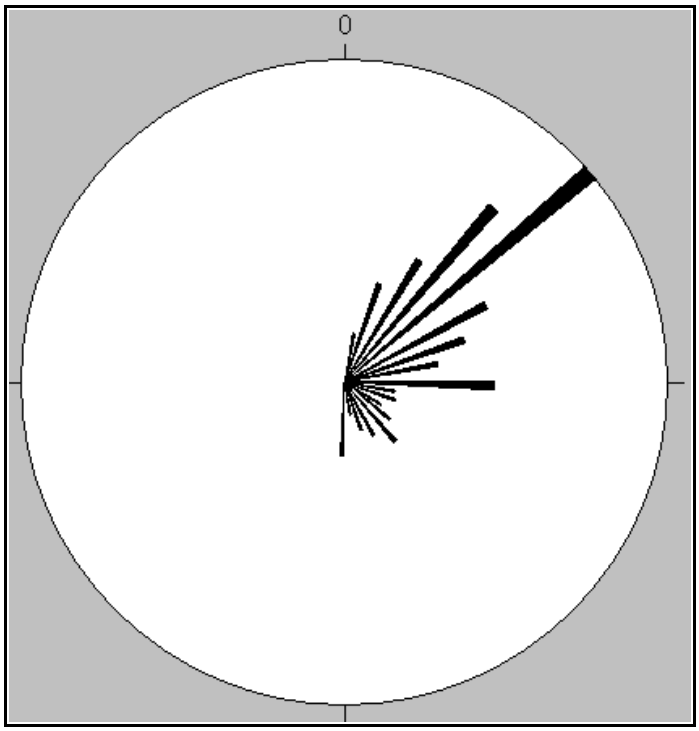

Ilustração 6 - Roseta de ondas confeccionada com base nos dados fornecidos pelo DHN (Marinha do Brasil)

4.3. Hidrografia Fluvial e Descarga Sedimentar

O presente item aborda aspectos hidrográficos dos rios das Ostras, Macaé e São João. Os referidos rios contribuem com significativo aporte sedimentar para as plataformas continentais, que por sua vez, tem este material remobilizado em direção à praia, configurando a linha de costa atual.

4.3.1. Bacia do Rio das Ostras

Localiza-se no município de Rio das Ostras, engloba uma área de 77km^2, percorrendo cerca de 29 km, passando por varias áreas de pastagens e terrenos alagados no seu trecho médio até desaguar no oceano. Nas proximidades da foz identifica-se um ambiente sedimentar constituído por manguezais. Vários impactos ambientais foram verificados devido à retificação do canal fluvial entre o período de 1956 a 1965.

4.3.2. Bacia do Rio Macaé

A área da bacia de drenagem do rio Macaé abrange cerca de 1765 km^2, limita-se ao norte pela bacia do rio Macabu, afluente da lagoa feia, ao sul, pela bacia do Rio São João. A referida bacia engloba praticamente todo município de Macaé, sendo partilhada pelos municípios de Nova Friburgo (onde esta localizada sua nascente), Casimiro de Abreu, Rio das Ostras, Conceição de Macabu e Carapebus. Nasce na serra de Macaé de Cima, próximo ao pico do Tinguá, na altitude aproximada de cerca de 1560 m. A calha principal desenvolve se no sentido oeste-leste, percorrendo cerca de 140 km até desaguar no Oceano Atlântico. O curso superior e médio se desenvolve de forma sinuosa, sob leito rochoso e acidentado, percorrendo cerca de 70 km ate atingir a planície aluvionar. O curso inferior passou por obras e retificação e alargamento em sua calha principal, realizados pelo extinto DNOS.

4.3.3. Bacia do Rio São João

O Rio São João nasce na serra do Sambe, a 700m de altitude, no município de Cachoeiras de Macacu, percorrendo aproximadamente 150 km até desaguar no Oceano Atlântico, junto ao distrito de Barra de São João. A bacia hidrográfica desse rio possui aproximadamente 2190 km^2, englobando vários municípios, tais como: Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Araruama, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Casimiro de Abreu e Silva Jardim. O curso principal apresenta forte declividade nos primeiros 5,0 km junta as nascentes, com um desnível de 600m. O curso médio se estende por mais 35 km até o reservatório de Juturnaíba, atingindo uma altura de 20m. O trecho inferior se prolonga por 85 km até atingir o Oceano Atlântico. O ultimo trecho é caracterizado por um canal artificial construído pelo DNOS, hoje assoreado. Acredita-se que parte dos sedimentos

dessa bacia hidrográfica permaneceram retidos a montante da obra de Juturnaíba.

4.3.3.1. Reservatório de Juturnaiba

O reservatório de Juturnaiba foi construído no inicio dos anos 80 em decorrência da construção de um dique-barragem pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS. A obra do dique e das estruturas hidráulicas visava controle (laminação) das cheias para jusante e sustentação de vazões regularizadas para a irrigação de áreas selecionadas pelo projeto Pró-Alcool e abastecimento público de águas. A obra de represamento concluída em 1984, ampliou o espelho da represa de 5.56 km^2 para 30.96 km^2, aumentando assim o acumulo d'água para 100 milhões de m^3, que anteriormente era de 10 milhões de m^3

4.4 Geologia Costeira

De acordo com Martin *et al.* (1997), a evolução geológica da planície costeira na região de Rio das Ostras é resultante das flutuações do nível relativo do mar ocorridas no Quaternário. A região estudada é caracterizada a sul por extensos depósitos Quaternários constituídos por cordões litorâneos e depósitos aluviais associados à bacia do rio São João. A norte-nordeste registra-se a ocorrência de gnaisses proterozóicos Indiferenciados que se projetam ao mar na forma de promontórios e depósitos Pleistocênicos caracterizados por areias de coloração escura ricas em matéria orgânica.

No contexto de oscilações do nível relativo do mar ocorrentes no Quaternário, Castro *et al.* (2007) apresentam registros paleoclimáticos do Holoceno para o sítio Pântano da Malhada a cerca de 30 km da praia das Tartarugas. Segundo Castro *op cit*, o máximo transgressivo ocorreu por volta de 5.100 anos AP ocasionando a formação da paleolaguna de Tauá. Esta conclusão foi resultante de datações C^{14} de coquinas preservadas com idades calibradas em torno de 5.034 a 5.730 anos AP. Nesta localidade, sistemas de ilhas barreiras se estabeleceram à frente da paleolaguna, ocasionando processos de dessecamento e colmatação, originando áreas de brejos e pântanos (Martin *et al.* 1997 *apud* Castro *et al*. 2007). A ocorrência de terraços marinhos com textura variando de areias a cascalhos provenientes da dissecação dos maciços rochosos e costões na região é associada ao evento de máximo transgressivo (Turq *et al.* 1999 *apud*

Rangel, 2005).

O arco praial entre Búzios e Rio das Ostras caracteriza-se por uma enseada relativamente fechada limitada pelo cabo Búzios e a ponta da Boca da Barra. A principal fonte de sedimentos além da plataforma continental é o Rio São João. O transporte longitudinal de sedimentos é predominantemente de norte para sul, impulsionado pela ação de ondas provenientes do quadrante nordeste. A ação antrópica na praia das Tartarugas nos últimos 20 anos através da urbanização interferiu no balanço sedimentar gerando processos de erosão costeira no local. Os maiores registros de recuo de linha de praia ocorrem nas proximidades no promontório das Tartarugas. A quantificação desse processo faz parte do capitulo de resultados.

5. Material e Método

Para o desenvolvimento do estudo foram realizadas etapas de gabinete, combinadas em todas as fases da pesquisa, a um controle de campo (monitoramento). Este trabalho analisou dados de clima de ondas, direção de ventos, sedimentos e fotografias aéreas de diferentes datas de vôo. Dessa forma, integrando-se as informações acerca dos processos de erosão costeira foi estabelecida regiões mais vulneráveis ao recuo de linha de praia. Os procedimentos adotados foram os seguintes:

Revisão Bibliográfica:

Consultaram-se diversos trabalhos referentes à literatura pertinente ao assunto, entre estes, monografias, dissertações, artigos, livros e trabalhos publicados em eventos cientificos.

Clima de Ondas e Ventos:

Os dados referentes ao clima de ondas e de ventos (Bacia de Campos) foram obtidos através da Marinha do Brasil (1963 – 1999). .Para confecção da roseta de direções do clima de ondas foi utilizado o software Estereonett.

Geprocessamento:

Foi realizada uma interpretação de dados aerofotogramétricos (foto aérea de 1976, escala 1:50.000) Projeto Força Aérea Brasileira - FAB e foto aérea de 2001, escala 1:8.000 pertencente à Prefeitura Municipal de Rio das Ostras - PMRO complementada por imagens google Earth, 2006 e Google pro 2007. As imagens foram georeferenciadas através do programa Arc Gis 9.2. Nessa etapa de trabalho foi obtida a taxa de recuo de linha de praia para diversos pontos do litoral estudado.

Trabalho de Campo:

Foram executados 6 (seis) seções de coletas de sedimentos, denominados de **A, B, C, D, E** e **F** nos ambientes geológicos correspondentes à praia (face da praia) e ante-praia (zona de arrebentação das ondas) perfazendo um total de 12 (doze) amostras. Para a coleta do material foi utilizado um amostrador de pvc de 30 cm de comprimento por 6 cm de diâmetro. Estas amostras foram coletadas no mês de Dezembro de 2006, e o critério de escolha das seções se baseou na proximidade de marcos facilmente identificáveis.

Laboratório:

As amostras foram processadas no Laboratório de Geologia Costeira e Sedimentologia do Museu Nacional – UFRJ. Durante o tratamento utilizou-se água destilada para retirada do sal. De acordo com Anísio (2006), este processo é importante, pois a presença de sal pode mascarar a granulometria original, causando alterações como floculação de argilas ou agregações de cristais de sais aos grãos. Em seguida, as amostras foram levadas para a estufa de secagem e esterilização (modelo 315 SE), com temperatura média de 80º C, durante cerca de 12 horas, até se encontrarem totalmente secas. Após essa etapa, as mesmas foram pesadas e, em seguida, desagregadas com o auxílio de um bastão de madeira. A análise granulométrica foi realizada através do método de peneiramento com a escala de Wentworth, no qual se utilizou um processador com 6 peneiras variando de 2,0 a 0,063 mm de malha. As amostras foram processadas durante 15 minutos, com velocidade 5. Foi utilizado o conceito de “Fi”, introduzido por Krumbein (1934), que corresponde ao logaritmo negativo de base 2 do valor da granulometria expressa em milímetros (Tabela 1).

Classificação	Fi (Φ)	mm
Matacão	< -8 a -6	< 256 a 64
Cascalho muito grosso	< -6 a -5	< 64 a 32
Cascalho grosso	< -5 a -4	< 32 a 16
Cascalho médio	< -4 a -3	< 16 a 8
Cascalho fino	< -3 a -2	< 8 a 4
Cascalho muito fino	< -2 a -1	< 4 a 2
Areia muito grossa	< -1 a 0	< 2 a 1
Areia grossa	< 0 a 1	< 1 a 0,5
Areia média	< 1 a 2	< 0,5 a 0,25
Areia fina	< 2 a 3	< 0,25 a 0,125
Areia muito fina	< 3 a 4	< 0,125 a 0,0625
Silte grosso	< 4 a 5	< 0,0625 a 0,03125
Silte médio	< 5 a 6	< 0,03125 a 0,0156
Silte fino	< 6 a 7	< 0,0156 a 0,0078
Silte muito fino	< 7 a 8	< 0,0078 a 0,0039
Argila	< 8	< 0,0039

Tabela 1 - fração granulométrica, escala Wentworth (1922).

6. Resultados

Os resultados referentes ao estudo do comportamento da dinâmica costeira na praia das Tartarugas em Rio das Ostras são os seguintes:

6.1. Clima de Ondas:

Com relação ao litoral de Rio das Ostras, o clima de ondas predominante conforme dados da Bacia de Campos apresenta da seguinte forma:

Direção das Ondas: As ondas apresentam-se em três direções preferências, predominam nordeste (70%), leste (15%) e sudeste (15%). Durante o período de verão a direção mais comum é a de nordeste. No inverno relacionado à entrada de frentes frias são as de sudeste e secundariamente as de leste.

Período da onda (T): Os períodos são caracterizados por ondas de vento local vagas entre 5 a 7 s em média. Durante o inverno, ocasionalmente, registra-se a passagem de

ondas longínquas caracterizadas como marulho “swell”.

Altura (h): As alturas obtidas para águas profundas varam entre 1,3 a 2,0 m em média. Na zona de arrebentação registram-se ondas com altura de até 2,0 durante a passagem de frentes frias.

Graficamente os dados acima foram apresentados em forma de roseta através da figura 5.

6.2. Diâmetro Mediano do Grão (D^{50}) mm

A partir dos resultados obtidos através das peneiras utilizadas conforme metodologia foi estabelecido o diâmetro mediano do grão para cada seção estabelecida (ponto de coleta). A tabela 2 a seguir mostra o resultado para cada uma das seções.

Pontos de Coleta	Praia	Ante-Praia
Ponto A	0,500	1,00
Ponto B	0,250	0,50
Ponto C	0,250	0,50
Ponto D	0,125	0,50
Ponto E	0,250	0,250
Ponto F	0,250	0,50

Tabela 2 - Diâmetro mediano dos grãos (D50) para a praia das Tartarugas.

	seção	seleção	arredondamento	esfericidade
praia	A	baixa	anguloso	baixa
antepraia	A	Moderada	subarredondado	baixa
praia	B	Moderada	Subanguloso	média
antepraia	B	boa	subarredondado	Média/ baixa
praia	C	baixa	subarredondado	Média/ baixa
antepraia	C	moderada	subarredondado	Média/ baixa
praia	D	Moderada	Subanguloso	média
antepraia	D	moderada	Subanguloso	Média/ baixa
praia	E	Moderada	Subanguloso	Média/ baixa
antepraia	E	Boa	subarredondado	média
praia	F	Moderada	Subanguloso	Média/ baixa
antepraia	F	Boa	subarredondado	média

Tabela 3 - Resultados referentes a maturidade textural das amostras

6.3. Geoprocessamento

Os resultados do recuo da linha de costa foram obtidos através do software Arcgis 9.2, conforme metodologia. A sobreposição de imagens de diferentes datas propiciou a delimitação da linha de praia com e sem erosão entre o período de 1976 a 2001 (Figura 6).

Em seguida são mostrados os detalhes de cada seção de recuo de linha de praia (zoom) através dos pontos A, B, C, D, E e F.

Ilustração 7 - Sobreposição de fotografias aéreas indicando o recuo da linha de praia entre 1976 a 2001

Na seção “A“ (zoom da foto aérea) o recuo de linha de praia (erosão costeira) foi de 7,33 m localizado próximo ao promontório das Tartarugas (Figura 7).

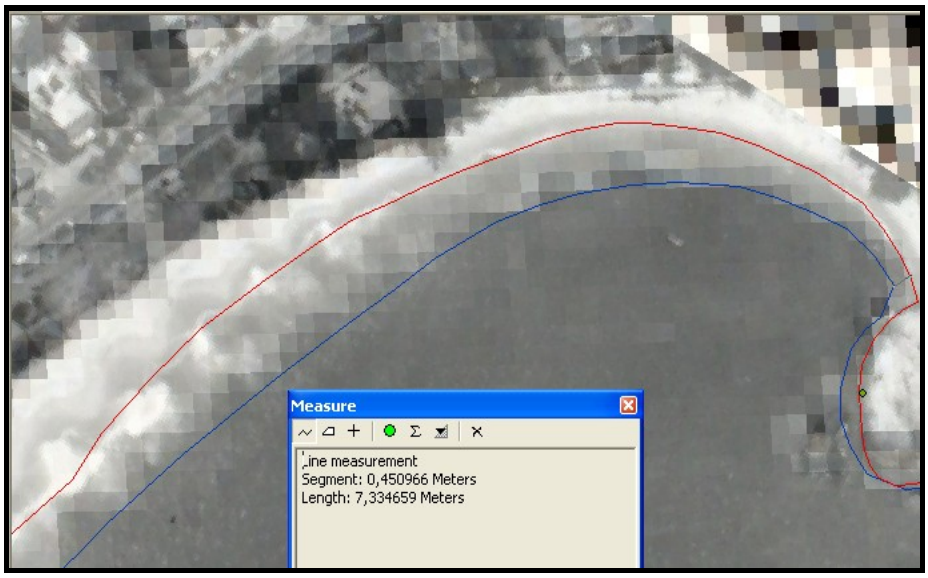

Ilustração 8- Detalhe do recuo de linha de praia da seção "A".

Na seção "B" (zoom da foto aérea) o recuo de linha de praia (erosão costeira) foi de 12,66 m (Figura 9).

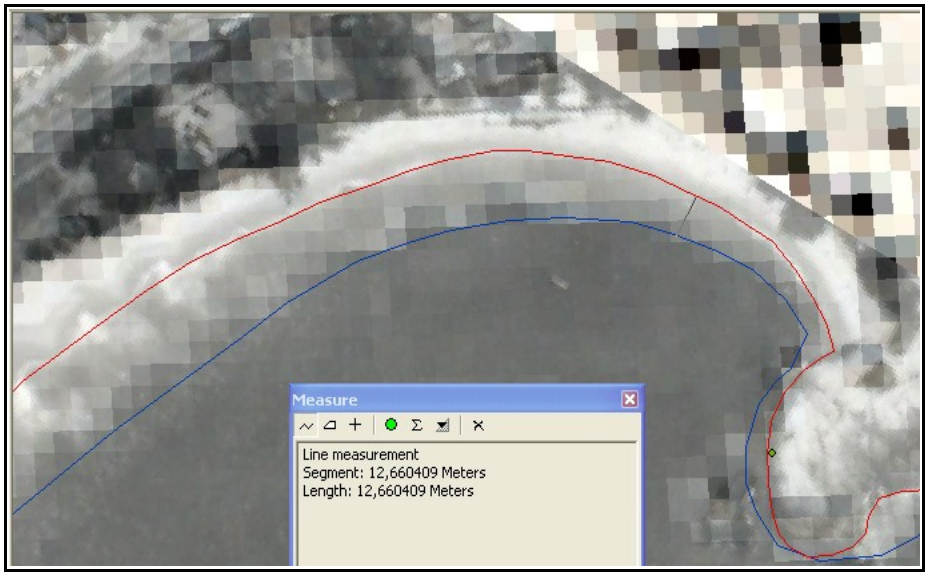

Ilustração 9 - Detalhe do recuo da linha de praia da seção "B"

Na seção "C" (zoom da foto aérea) o recuo de linha de praia (erosão costeira) foi de 19,13 m (figura 10).

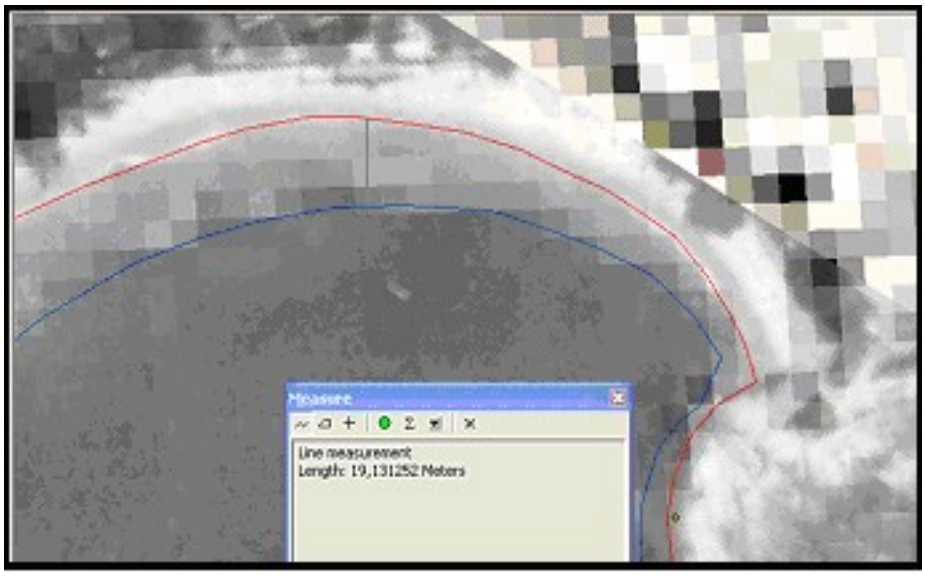

Ilustração 10 - Detalhe do recuo da linha de praia da seção "C"

Na seção "D" (zoom da foto aérea) o recuo de linha de praia (erosão costeira) foi de 25,11 m (Figura 11).

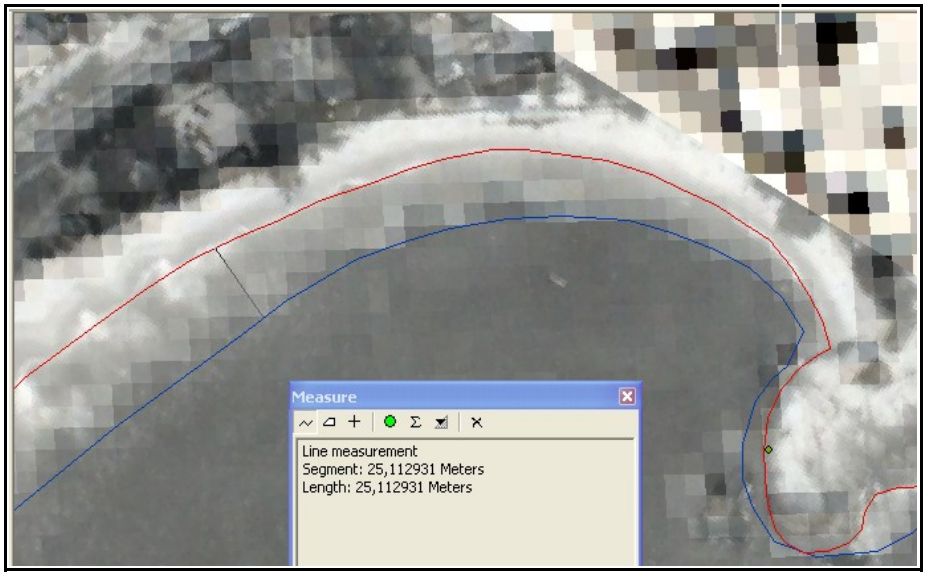

Ilustração 11 - Detalhe do recuo da linha de praia da seção "D"

Na seção “E” (zoom da foto aérea) o recuo de linha de praia (erosão costeira) foi de 28,26 m (Figura 12).

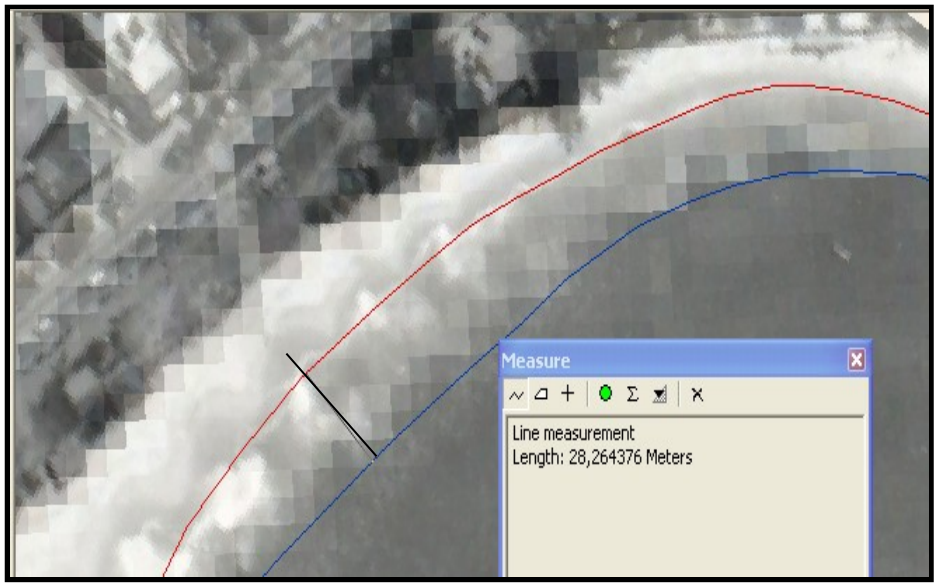

Ilustração 12 - Detalhe do recuo da linha de praia da seção “E”

Na seção “F” (zoom da foto aérea) o recuo de linha de praia (erosão costeira) foi de 24,23 m (Figura 13).

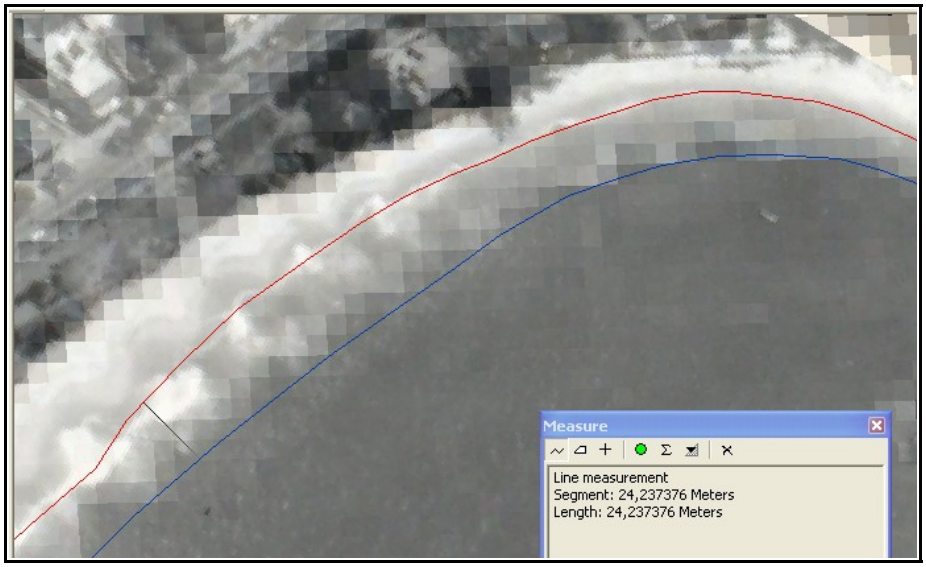

Ilustração 13 - Detalhe do recuo da linha de praia da seção “F”

A tabela 3 resume as taxas de recuo de linha de costa em cada seção estudada na praia das Tartarugas – Rio das Ostras durante o período de 1976 a 2001.

PONTO A	**7,30 m**
PONTO B	**12,66 m**
PONTO C	**19,13 m**
PONTO D	**25,11 m**
PONTO E	**28,26 m**
PONTO F	**24,23 m**

Tabela 4 - Resultados das taxas de recuo de linha costa para cada seção estudada.

7. DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos através da Marinha do Brasil sobre o clima ondas da Bacia de Campos correspondente à zona 74 da publicação inglesa *Global Wave Statistic* foram obtidos resultados sobre a direção, altura e periodo de ondas. Os dados tratados apontam para um clima de ondas predominantemente de nordeste correspondente a ondas de "*sea"* vagas. Ocasionalmente ocorrem passagens de frentes frias alterando significativamente o perfil de praia. Os dados obtidos corroboram informações de *Castro e Coutinho (2007*) em relação às alterações dos perfis de praia para o Estado do Rio de Janeiro. Nas praias estudadas por esses autores verificou-se que a passagem de frentes frias é responsável pelo perfil erosivo, concentrado no inverno mais também em outras épocas do ano, inclusive no verão.

Apesar do clima de ondas de direção nordeste ter maior freqüência na praia das Tartarugas, sua ação sobre os sedimentos da face da praia é menos intensa, em relação ao processo de erosão costeira, uma vez que a referida praia é abrigada na sua extremidade nordeste por um promontório rochoso.

Em relação a granulometria do material verificou-se que os sedimentos que constituem a antepraia apresentam diâmetro mediano do grão (D_{50}) maior que na face da praia. Tal fato deve-se as condições de maior energia das ondas na antepraia que ao encontrar o fundo remobiliza as frações mais leves, deixando-o "*in loco"* os grãos mais pesados.

A baixa maturidade textural na maioria das amostras coletada na praia e antepraia denotam grande influência fluvial sobre os depósitos praiais. Tal influência deve-se as

proximidades da praia das Tartarugas com a foz de rios, entre estes, rio das Ostras e rio São João.

Em relação aos processos históricos de recuo de linha de costa entre 1976 a 2001 verificou que a taxa de recuo é diferenciada nas seções estudadas. Nas proximidades do promontório das Tartarugas os valores atingiram de 7,30 m durante o período estudado, enquanto, no extremo oposto mais a sul o valor foi de 24,23 m. Esse resultado deve-se a as condições de abrigo ou não de cada seção e a ação das ondas de tempestade que remobiliza os sedimentos da praia colocando-o em deriva litorâneo. Muito provavelmente os sedimentos retirados da praia em erosão estão sendo depositados ao largo (plataforma continental). Nas praias do município de Búzios (praia Rasa) ao sul do arco praial vêm se observando ao longo dos últimos anos um continuo processo deposicional (engordamento). Entretanto ainda não foi realizado nenhum tipo de estudo que possa comprovar essa suposição de transporte de sedimentos constituído por material mais fino em direção à praia Rasa, proveniente da praia das Tartarugas. O processo erosivo da praia das Tartarugas vêm sendo observado desde o final dos anos 90. Após a urbanização da área de domínio de pós-praia no inicio do ano 2000 (faixa de preservação ambiental permanente), tornou-se acelerado o processo erosivo através de significativas perdas patrimoniais, traduzidas em destruições de residências, muros de contenção e quiosques. As figuras 14 e 15 mostram à área das seções A, B, e C com uma longa faixa de areia sem indícios de erosão.

Ilustração 14 - Fotografia da praia da Tartaruga vista da pousada das Tartarugas no verão de 1985.

Ilustração 15 - Fotografia da praia da Tartaruga no verão de 1985.

Em 2002 após a implantação de um muro de contensão à direita do observador verificou-se uma faixa de praia relativamente reduzida em relação à foto anterior (Figura 16)

Ilustração 16 - Fotografia obtida do promontório das Tartarugas, ao fundo observa-se uma pequena faixa de areia

Após a urbanização e aterro da faixa de pós-praia o processo erosivo tornou-se muito

acelerado, favorecendo a implantação de um gabião de proteção costeira. Devido à ausência de estudos geológicos-geotécnicos e de engenharia hidráulica, a obra não suportou a constante ação de ondas, principalmente de tempestades, gerando assim, o recalque da obra (Figura 17).

Ilustração 17 - Fotografia da praia das Tartarugas após a implantação do gabião (2005)

A figura 18 mostra o aterro construído na faixa de pós-praia (faixa de preservação ambiental permanente). A localização do aterro corresponde ao antigo terraço de tempestade (berma). A perda de espaço de propagação de ondas de tempestades contribuiu para o recalque da obra.

Ilustração 18 - Fotografia do muro de contenção destruído após uma onda de tempestade "swell" (2005).

A figura 19 mostra em detalhe o aterro construído pela Prefeitura de Rio das Ostras sobre um depósito de pós-praia que por sua vez está assentado sobre sedimentos de coloração escura provavelmente de origem Pleistocênica (Martin *et al.* 1997).

Ilustração 19 - Aterro construído sobre a pós-praia (berma) na praia das Tartarugas

8. Considerações Finais

De acordo com os objetivos propostos chegaram-se as seguintes considerações finais sobre o processo de erosão costeira na praia das tartarugas - Rio das Ostras:

- A ação de ondas de tempestade (maior energia) de direção sul-sudeste e a corrente longitudinal proveniente de nordeste são os principais responsáveis pela remobilização de sedimentos da faixa de praia (erosão);
- As taxas de recuo de linha de praia apresentaram-se com diferentes valores. No segmento norte, próximo ao promontório, o recuo foi de 7,33 m enquanto no segmento sul foi de 24,23 m. As diferenças encontradas devem-se as diferentes larguras do ambiente praial e a influência de obras na pós-praia.
- A construção da barragem de Jurturnaiba no rio São João reteve grandes volumes de sedimento que deixaram de chegar na praia, alterando o balanço sedimentar de positivo para negativo;
- A implantação do aterro e a conseqüente impermeabilização da pós-praia (berma) impediram localmente a propagação natural das ondas, gerando recalques sobre a base do mesmo;
- A construção de um quebra mar (gabião) acelerou ainda mais o processo erosivo em curso;
- A urbanização na faixa de preservação ambiental de 33 m contribuiu de certa forma na aceleração do processo de recuo de linha de praia;

Tendo em vista o grave problema ambiental identificado (erosão costeira) decorrente de ações antrópicas, entre estas, urbanização da orla da praia das Tartarugas e a construção da barragem de Jurturnaiba no rio São João, recomenda-se a continuidade dos trabalhos através da execução trimestral de perfis de praia e calculo de estimativas de taxas de transporte transversal e longitudinal de sedimentos visado remediar ou mitigar o problema estudado.

Referências Bibliográficas

Bird, E.C.F. The study of coastline changes. Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Supplement-Band 57, 1985, p. 1-9.

Bird, E.C.F. Beach Management. New York, John-Wiley and Sons, 1999, 292 p.

Bruun, P. Coast erosion and the development of beach profiles. Beach erosion board technical memorandum, 44. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1954.

Castro J.W.A. A influencia dos processos costeiros litorâneos na identificação de áreas de risco costeiro nas praias da margem oeste do rio Ceará. In Boletim de resumos expandidos 37º Congresso Brasileiro de Geologia, V. 1, SBG, São Paulo, 1992, p 106-108.

Castro, J.W.A. & Coutinho, N.M. Erosão e deposição de sedimentos no segmento costeiro Barra da Tijuca - Recreio dos Bandeirantes. 11º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA. Belém – Pa, 2007. CD. Room.

Castro, J. W. A; Ramos, R.R.C e Senra, M.C., Coquinas da Paleolaguna da Reserva Tauá - Pântano da Malhada, Cabo Frio, RJ, um registro do optimum climático holocênico. SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos, 2007 (CD Room).

Coastal Engineering Research Center (CERC). Shore Protection Manual. Mississippi, U.S. Government Printing Office, 1984.

Coutinho, N.M. Erosão e deposição de sedimentos no arco da praia Barra da Tijuca/Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro - RJ. Dissertação de Mestrado em Geologia. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2007, 79 p.

Dean, R. G. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts. Ocean Eng. Rep. No. 12, Dept. of Civil Eng., Univ. of Delaware, 1977.

Dean, R. & Dalrymple, R. Water wave mechanics for engineers and scientists. Advanced series in ocean engineering, Prentice-Hall, 1991.

Dean, R. G. Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications. Coastal and Oceanographic Engineering Department, University of Florida, USA, 1991, 75 p.

Dean, R. G. Beach nourishment: theory and practice. Prentice-Hall, 2000.

Dias, F.F. *et al.* Resultados preliminares acerca da evolução holocênica da região do pântano da Malhada, Cabo Frio - Armação de Búzios / RJ. Anais do XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, CD-ROM, Belém, UFPA, 2007.

Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN). Carta náutica "Do cabo Búzios ao cabo Frio" na escala 1:40000. Rio de janeiro, 1985.

Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN). Carta náutica "Do cabo Búzios ao cabo Frio" na escala 1:40000. Rio de janeiro, 2006.

Fernandes, D., Erosão costeira na praia das Tartarugas – Rio das Ostras / RJ. XXIX Jornada Giulio Massarani de Iniciação Cientifica e Cultural da UFRJ. 2007 (CD Room).

Gusmão, L.A.B. Modelo numérico de evolução de perfis de praia. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, M. Sc.,Engenharia Oceânica, 1994, p 85.

Hallermeier, R. J. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. Coastal Engineering, USA, v. 4, 1981, p. 253-277.

Laslandes *et al*. Enregistrement de la variabilité hydroclimatique au cours dês 6500 dernièrs années sur le littoral de Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brésil). Comptes rendus Geoscience – Geophysique externe, Climat et Environment, Vol 338, 2006, p. 667-675.

Martin, L. *et al.* Evolução da planície costeira entre Guaratiba e Cabo Frio (RJ). IV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA. São Paulo, 1993.

Martin,L; Suguio,K; Dominguez,J.M.L.; Flexor,J.M. 1997. Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Estado do Espírito Santo. Belo Horizonte. CPRM, 112 p.

Short, A.D. Beaches. In: Short, A.D., (org) Handbook of beach and shoreface morphodynamics. John-Wiley and Sons, p 3-20.

Short, A. D. & Wright, L. D. Physical variability of sandy beaches. In: Sandy beaches as ecosystems: 1st International Symposium on Sandy Beaches, South Africa: McLachlan, A. ;

Souza C.R.G. *et al*. Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza C.R.G. *et al.* (Orgs). Quaternário do Brasil. 1ª ed. Ribeirão Preto: Holos, 2006, p.130-152.

Suguio, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgar-Blucher, 1973.

Suguio, K. Dicionário de Geologia Marinha.T. A. Queiroz Editor. São Paulo, 1992, 171 p.

Turcq, B. *et al*. Origin and evolution of the quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: Knoppers, B *et al.* (org.). Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil, Universidade Federal Fluminense, Série Geoquímica Ambiental, 6: 25-46.