



RETROGRADAÇÃO DA BARREIRA ARENOSA E FORMAÇÃO DE LEQUES DE ARROMBAMENTO NA PRAIA DE ITAIPUAÇÚ (OESTE DE MARICÁ, RJ).

André Luiz Carvalho da Silva

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geologia - UFF. andrelcsilva@igeo.uff.br

Maria Augusta Martins da Silva

Professora Doutora Adjunta do Departamento de Geologia - UFF. augusta@igeo.uff.br

Carla Luiza dos Santos

Mestre em Geologia e Geofísica Marinha pelo Departamento de Geologia - UFF

Gilberto Pessanha Ribeiro

Professor Doutor Adjunto da Faculdade de Engenharia da UERJ

Ricardo Álvares dos Santos

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geologia - UFF

Sérgio Cadena de Vasconcelos

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geologia - UFF

Resumo

O presente estudo objetiva contribuir para o entendimento dos processos de retrogradação da barreira arenosa e de formação de leques de arrombamento no setor oeste do litoral de Itaipuaçu (município de Maricá, estado do Rio de Janeiro). A metodologia consistiu de uma análise comparativa entre fotografias aéreas antigas (1970 a 1976) e imagens atuais; realização de perfil topográfico na restinga no local dos leques de arrombamento, utilizando-se o método proposto por Emery (1961); e mapeamento da linha de crista da restinga e dos leques de arrombamento com rastreador geodésico (DGPS). Os resultados indicam que a parte oeste do litoral de Itaipuaçu retrogradou cerca de 13 metros em 28 anos (1976-2004), o que pode ser constatado pela localização atual da praia em locais anteriormente ocupados pela vegetação típica de restinga. A restinga vem apresentando inúmeras alterações no período indicado: formação de leques de arrombamento, desaparecimento de dunas e da vegetação. Os processos relativos ao desenvolvimento dos leques de arrombamento são responsáveis pela retirada dos sedimentos da praia e sua redeposição na retaguarda da restinga. Tais mudanças têm resultado na destruição de construções erguidas em local impróprio por se desconsiderar a dinâmica característica deste ambiente.

Palavras-chave: retrogradação, barreira arenosa, leques de arrombamento, Itaipuaçu, erosão.

Abstract

This study aims to contribute to the understanding of processes related to the retrogradation of a sandy barrier and formation of washover fans in the west sector of the coast of Itaipuaçu (Maricá city, Rio de Janeiro state). The methodology consisted of comparison between old aerial photographs (1970 to 1976) with present-day images, realization of topographic profile of the sand barrier in the vicinities of the washover fans using method proposed by Emery (1961), and mapping of the barrier crest line and washover fans with DGPS. The results indicate that part of the west coast of Itaipuaçu retreated about 13 meters in 28 years (1976-2004), which can be seen by the current location of the beach in places previously occupied by vegetation typical of the sand barrier. The barrier has experienced numerous changes in this time interval: formation of washover fans, disappearance of dunes and vegetation. Processes related to the development of washover fans are responsible for the removal of sediment from the beach and its deposition on back of the barrier. These changes have resulted in the destruction of constructions located in inappropriate places that disregarded the dynamics of this environment.

Keywords: retrogradation, sand barrier, washover fans, Itaipuaçu, erosion.

Introdução

O presente estudo é uma contribuição ao entendimento dos processos de retrogradação de uma barreira arenosa e de formação de leques de arrombamento. A área de estudo é a parte oeste do litoral de Itaipuaçu, Maricá / RJ (Fig. 1). Neste trecho do litoral, a praia que se estende por cerca de 10 km, apresenta um perfil refletivo típico e amplas variações morfológicas no intervalo de

tempo de cerca de 10 anos de levantamentos de campo (SANTOS, 2000; SANTOS *et al.*, 2005; SILVA, 2006; SILVA *et al.*, no prelo). Do mesmo modo, a crista da restinga, vem apresentando inúmeras alterações no período indicado: ondas de ressaca formam e desenvolvem leques de arrombamento, removem dunas e vegetação. Tais fenômenos promovem o recuo ou retrogradação da barreira arenosa e a praia hoje já se posiciona em locais anteriormente (década de 90) ocupados pela vegetação de restinga.

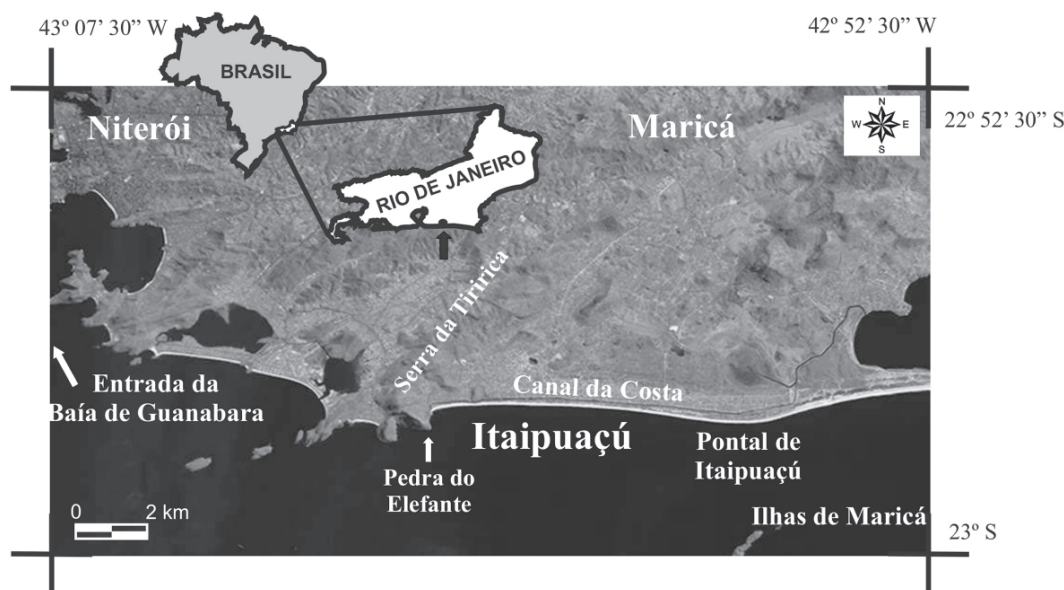


Figura 1 - Localização da área de estudo. Imagem do satélite Landsat (site: www.cdbrasil.cnpemembrapa.br).

A compreensão da mobilidade característica das barreiras arenosas e das variáveis envolvidas em tal processo é de extrema importância, sobretudo se considerarmos a intensa ocupação humana que geralmente ocorre sobre este ambiente. A densidade populacional média em áreas próximas à costa chega a ser três vezes maior que a média global, principalmente, em altitudes inferiores a 20 metros (SMALL & NICHOLLS, 2003). Cabe ressaltar que as barreiras arenosas apresentam topografia relativamente baixa, o que contribui para que ondas, sobretudo de tempestades, devastem essas áreas durante a ocorrência de furacões (DAVIS & FITZGERALD, 2004). Diante dessa problemática, aumenta a necessidade de se mapear a posição da linha de costa e compará-la com antigas posições dessa linha de costa e, principalmente, procurar estabelecer tendências futuras de posicionamento em função da mobilidade da mesma. O mapeamento de uma linha de costa é comumente realizado por meio de várias ferramentas, tais como: fotografias históricas e aéreas, mapas e cartas costeiras, perfis topográficos de praia, GPS diferencial, etc. A linha de costa é a interface, ou limite, entre o continente e o mar. O indicador empregado

para representar a linha de costa durante mapeamento dependerá do contexto da investigação que se pretende realizar. Em função do caráter dinâmico da linha de costa, inúmeros indicadores têm sido com frequência utilizados para representar a posição dessa, como por exemplo: o topo de uma falésia, a crista/limite da vegetação de dunas, escarpas erosivas, o alcance máximo da maré, o limite da praia sujeito ao alcance das ondas, a linha de arrebentação das ondas, etc. (BOAK & TURNER, 2005).

Depósitos de leques de arrombamento (ou “*Washover fans*”) são comumente encontrados em barreiras arenosas em costas influenciadas por eventos meteorológicos de alta energia. Esses depósitos sedimentares costeiros, característicos de costas arenosas vêm sendo estudados, sobretudo na costa leste dos Estados Unidos e na Austrália (MORTON & SALLENGER, 2003., DONNELLY *et al.*, 2004., SWITZER *et al.*, 2006; WANG & HORWITZ, 2007). Os leques de arrombamento se formam quando ondas de ressacas de grande magnitude, geradas por grandes tempestades de inverno, furacões ou tsunamis, transportam areia por sobre a restinga e geram um depósito em forma de leque no topo e retaguarda da barreira. Esses depósi-

tos têm como fonte areia da praia e região submarina adjacente. Durante as tempestades, água e sedimentos podem ultrapassar o limite interno da praia e passar por sobre a crista da restinga rompendo-a, ocorrendo deposição em camadas na parte posterior da barreira. Tal processo denomina-se sobrelavagem (“*overwash*”). O processo de sobrelavagem pode ocasionar mudanças consideráveis na morfologia de uma barreira, causando inclusive erosão de dunas (SWITZER *et al.*, 2006). Depósitos de leques de arrombamento podem ser considerados como indicadores de tempestades intensas no registro geológico (DONNELLY *et al.*, 2004) e podem se formar tanto em sistemas dissipativos quanto refletivos (CARTER, 1988). O alcance e/ou extensão do leque de arrombamento e as respostas na morfologia da barreira dependem da interação de determinadas variáveis, como: (1) intensidade, alcance e duração das ondas de tempestades; (2) ação construtiva e destrutiva das ondas de tempestades; (3) diferença de nível d’água entre oceano e lagoa/laguna, e (4) variações na batimetria da porção submarina da praia e da “*shoreface*” (MORTON & SALLENGER, 2003). Em escala regional, leques de arrombamento podem apresentar diferenças significativas, que são controladas por (1) diferenças na morfologia da barreira arenosa, (2) no tipo e densidade da vegetação de restinga e (3) na propriedade dos sedimentos (WANG & HORWITZ, 2007). Desta forma, o entendimento da evolução dos depósitos de leques de arrombamento são importantes para a compreensão da dinâmica das barreiras arenosas e constitui-se num mecanismo de grande importância para a compreensão de eventos relacionados às variações do nível do mar (CARTER, 1988).

Caracterização da área de estudo

O litoral de Itaipuaçu, localizado no município de Maricá, estado do Rio de Janeiro (Fig. 1), é conhecido pela característica rara do sedimento que compõe sua praia: areias, grânulos e seixos muito bem arredondados formados em grande parte por quartzo puro, bem como pela alta energia das ondas incidentes e correntes. Este trecho do litoral de aproximadamente 10 km, de orientação E – W, está situado a cerca de 13 km a leste da entrada da Baía de Guanabara, sendo limitado à oeste pela Pedra do Elefante (parte da serra da Tiririca; limite com o município de Niterói) e à leste pelo pontal de Itaipuaçu. O extremo oeste com cerca de 1,5 km a partir da Pedra do Elefante é o trecho mais dinâmico e com leques de arrombamento mais expressivos. Corresponde a um trecho do litoral que vem sofrendo com um rápido processo de urbanização nas últimas décadas. Sendo assim, em meio a crescente urbanização dessas áreas, observa-se uma série de problemas, que têm resultado na destruição de avenidas, muros, postes de iluminação e energia elétrica, quiosques, etc. Desta forma, esse trabalho procura fornecer subsídios para a compreensão da mobilidade da barreira arenosa e da formação dos leques de arrombamento neste trecho do litoral de Itaipuaçu.

Metodologia

Para alcançar os objetivos do trabalho foram feitos: (1) uma análise comparativa de fotos aéreas antigas e imagens atuais; (2) realização de perfil topográfico de praia e restinga no local dos leques de arrombamento, utilizando-se o método das balizas proposto por Emery (1961), que consiste na realização de perfis perpendiculares à linha de praia, começando no nível médio das ondas (na maré baixa de quadratura) e indo até a borda do canal da Costa; (3) mapeamento com rastreador geodésico (GPS – modo relativo) procurando marcar a posição espacial da linha de crista da restinga e dos limites dos leques de arrombamento nessa área. A crista da restinga foi aqui empregada como indicador da linha de costa por ser esta a feição morfológica diretamente submetida às alterações verificadas neste trecho e por não sofrer alteração diária em decorrência das variações nas condições das marés e ondas de tempo bom, como ocorre, por exemplo, com a linha d’água.

As fotografias aéreas (1970 e 1976 – DRM-RJ; 1975 – DHN) e as fotografias históricas e recentes foram utilizadas com o objetivo de estabelecer comparações na restinga, tanto as naturais como as decorrentes do processo de urbanização nas últimas décadas.

Para obter o perfil topográfico dos leques de arrombamento utilizou-se três balizas de madeira medindo 1,5 metro e graduadas de 2 em 2 centímetros, que foram alinhadas perpendicularmente à linha de praia. As balizas foram deslocadas ao longo do perfil, ao mesmo tempo em que se registrava a variação da topografia fazendo uma “linha de visada” horizontal entre as balizas e a linha do horizonte. A observação é realizada sempre da primeira baliza e a segunda, ao ser alinhada, fornece a variação vertical da topografia da praia. Os dados obtidos foram processados no software Grapher.

Para o mapeamento da linha de crista da restinga e dos leques de arrombamento, utilizou-se um par de rastreadores geodésicos Ashtech Reliance, de uma frequência, no modo relativo, tendo como base à estação de referência RN3000-A do IBGE, localizada na base do relógio do Sol, próximo ao Instituto de Geociências da UFF (Niterói/RJ). Para tal, utilizou-se o sistema GPS no modo relativo cinemático. Através de dados precisos da localização da crista da restinga e geometria dos leques de arrombamento, obtiveram-se os meios que possibilitassem o acompanhamento das alterações da morfologia da restinga, bem como, o desenvolvimento dos depósitos atuais de leques de arrombamento por meio da marcação da posição espacial dos limites dos leques de arrombamento e a linha de crista da restinga nessa área. O pós-processamento dos dados gerados no mapeamento realizado com rastreadores geodésicos e os dados obtidos a partir de fotografias aéreas foram tratados no software SIGSpring 4.1 e consistiu das seguintes etapas: tratamento da linha de 2004, vetorização da linha de 1976, poligonização das linhas (1976-2004), medição da área acrescida dos leques, e medição da distância entre a crista da restinga em 1976 e 2004.

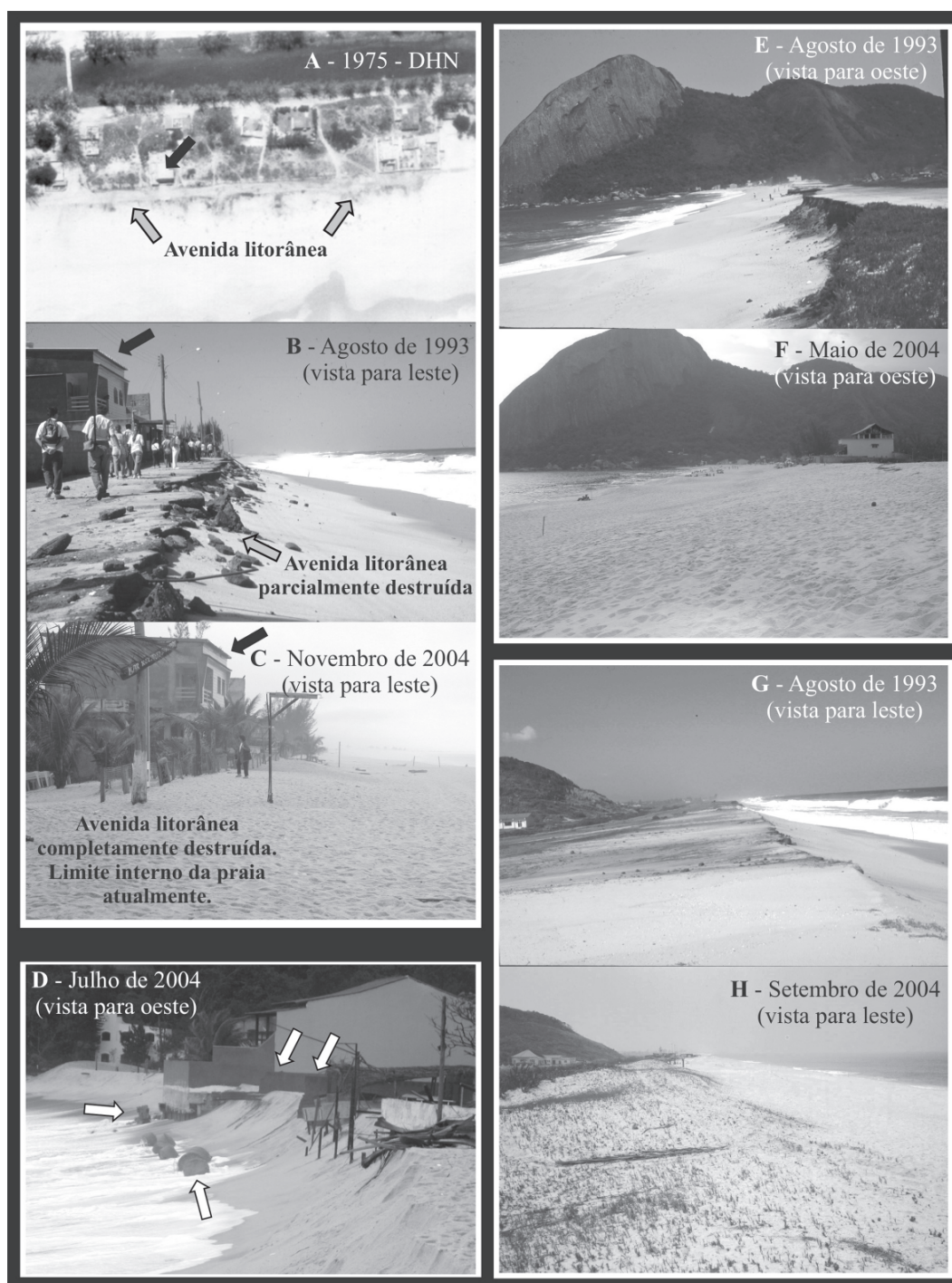


Figura 2 A a H - Extremo oeste da praia de Itaipuaçu. Nas figuras A, B e C a seta preta aponta o mesmo prédio nos diferentes momentos. Na figura D as setas indicam muros sendo destruídos pela ressaca de 19 de julho de 2004. Figuras E/F e G/H mostram a mesma área em 1993 e 2004.

Resultados

Condições de mar extremas, Retrogradação da Barreira e o Impacto nas Construções.

O litoral de Itaipuaçu está sujeito à incidência de ondas de alta energia, provenientes principalmente de sudeste associada às condições de tempo bom, além de ondas de ressaca de sul e sudoeste (SANTOS, 2000; SILVA, 2006; SILVA *et al.*, no prelo). As ondas de sudeste de tempo bom e que predominam ao longo do ano, apresentam altura média inferior a 1 metro, podendo ultrapassar 1,50 metro no inverno. As ondas de sul e sudoeste associadas a tempestades chegam a atingir 3 metros de altura. A forma de arrebentação das ondas varia bastante e ocorre praticamente junto à linha d'água, onde comumente se observa um canal proeminente paralelo à praia. Uma estreita e discreta "zona de surf" ocorre ocasionalmente apenas junto ao extremo oeste da praia de Itaipuaçu. Correntes de deriva litorânea nesta praia predominam em direção a oeste, em resposta à obliquidade na incidência de ondas de sudeste, ocasionando um alargamento da praia nesta direção (SANTOS, 2000; SILVA, 2006).

As transformações decorrentes da mobilidade da barreira arenosa no extremo oeste do litoral de Itaipuaçu, somada à ocupação desordenada desse trecho com inúmeras construções em locais sujeitos à ação de ondas de ressacas, vêm causando a destruição de diversas obras de engenharia. A avenida litorânea, que na década de 1970 se localizava a frente das casas construídas sobre a vegetação de restinga (Fig. 2 A), não mais existe. Desapareceu após ser gradualmente consumida por diversas ressacas (Fig. 2 B e C). Da mesma forma, postes de iluminação pública, quiosques e muros foram destruídos, sobretudo nas últimas duas décadas. Diversas casas encontram-se localizadas no que atualmente representa o pós-praia e o limite interno da praia, o qual em alguns locais se confunde em meio às próprias construções, avançando por entre as mesmas (Fig. 2 B a H). Contudo, apesar desse cenário, a ocupação desordenada continua com a delimitação de terrenos com cercas de arame farpado, construção de muros e casas, sobre o que resta da vegetação de restinga, que vem sendo destruída para "limpar o terreno"; até mesmo, áreas onde estão localizados leques de arrombamento estão sendo ocupadas pelas construções.

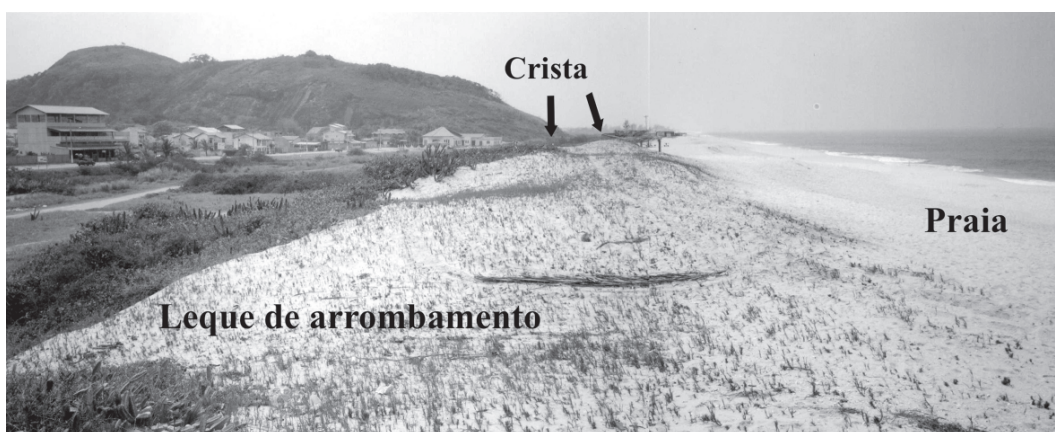


Figura 3 - Leque de arrombamento visto para leste.

Leques de Arrombamento e Mapeamento da Crista da Restinga.

Com o mapeamento da topografia na área onde os leques de arrombamento são mais expressivos (Fig. 3), constatou-se que a altura da crista da restinga é de pouco mais de 6 metros em relação ao nível médio do mar. O perfil topográfico realizado na praia registrou uma extensão de 72 metros até o alcance médio das ondas e declividade acentuada, chegando a 23° na região intermaré (Fig. 4). Trata-se de um trecho da praia com grande variabilidade na morfologia e na largura, e de perfis geralmente íngremes (SANTOS, 2000; SILVA, 2006). O perfil topográfico do leque de arrombamento apresentou cerca de 10° de declividade e 69 metros de extensão até o canal da Costa (limite interno da restinga atu-

al), representando o alcance máximo do leque de arrombamento em direção ao interior do continente (Fig. 4). A praia e leque de arrombamento apresentam sedimentos predominantemente arenosos, com granulometria variando de areia grossa a muito grossa, e quantidade considerável de cascalhos.

O mapeamento dos leques de arrombamento realizado em 2004 com o rastreador geodésico (DGPS) e a comparação entre o resultado desse mapeamento com dados obtidos a partir de fotografias aéreas de 1976 permitiram constatar um alargamento destas feições em direção ao continente. Trata-se de um acréscimo de cerca de 5.000 m² neste período para um trecho mapeado de cerca de 500 metros de extensão (Fig 5). Os processos de sobrelavagem retiram sedimentos da praia e depositam-no na retaguarda da restinga. O

mapeamento da crista da restinga na parte oeste da barreira arenosa possibilitou identificar uma retrogradação de cerca

de 13 metros, levando-se em consideração a posição da crista da restinga em 1976 (Fig. 6).

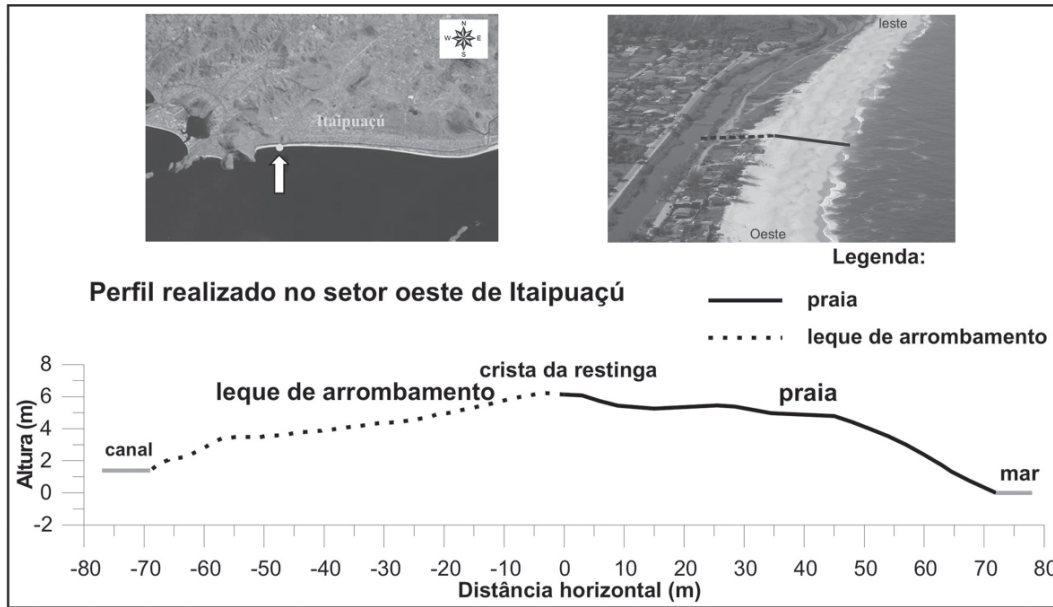


Figura 4 - Perfil topográfico de praia e restinga no setor oeste da praia de Itaipuaçu, em janeiro de 2006.

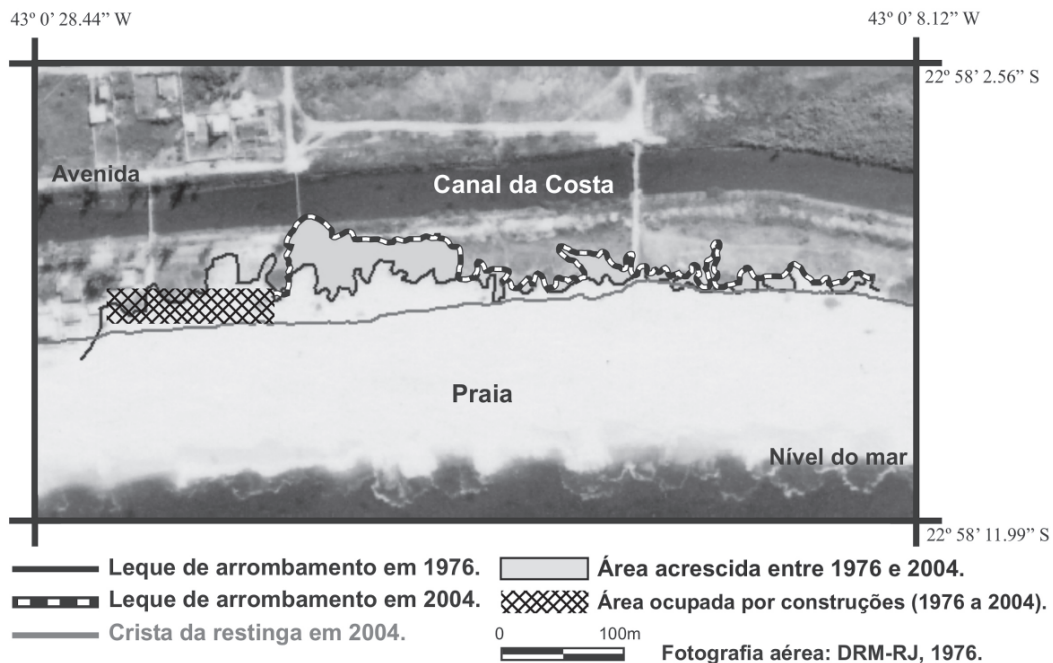


Figura 5 - Mapeamento dos leques de arrombamento. A área total acrescida entre 1976 e 2004 para o trecho medido é de cerca de 5.000 m².

Discussão

Dentre os diversos fatores capazes de interferir na estabilidade das barreiras, são as tempestades as maiores responsáveis pelas alterações observadas na área de estudo. Tem sido constatado nas últimas décadas um aumento no número e na intensidade das tempestades mais intensas a nível global (WEBSTER *et al.*, 2005), o que pode tornar

mais eficaz a mobilidade das barreiras em decorrência da elevação do nível do mar. Tendências e previsões futuras, tanto no que diz respeito à intensificação das tempestades quanto à elevação do nível do mar, ratificam tais mudanças, o que pode resultar na continuidade, e até no aumento, de problemas relacionados com a instabilidade, tão características dos cordões arenosos, catastróficos sobretudo nos mais densamente povoados.

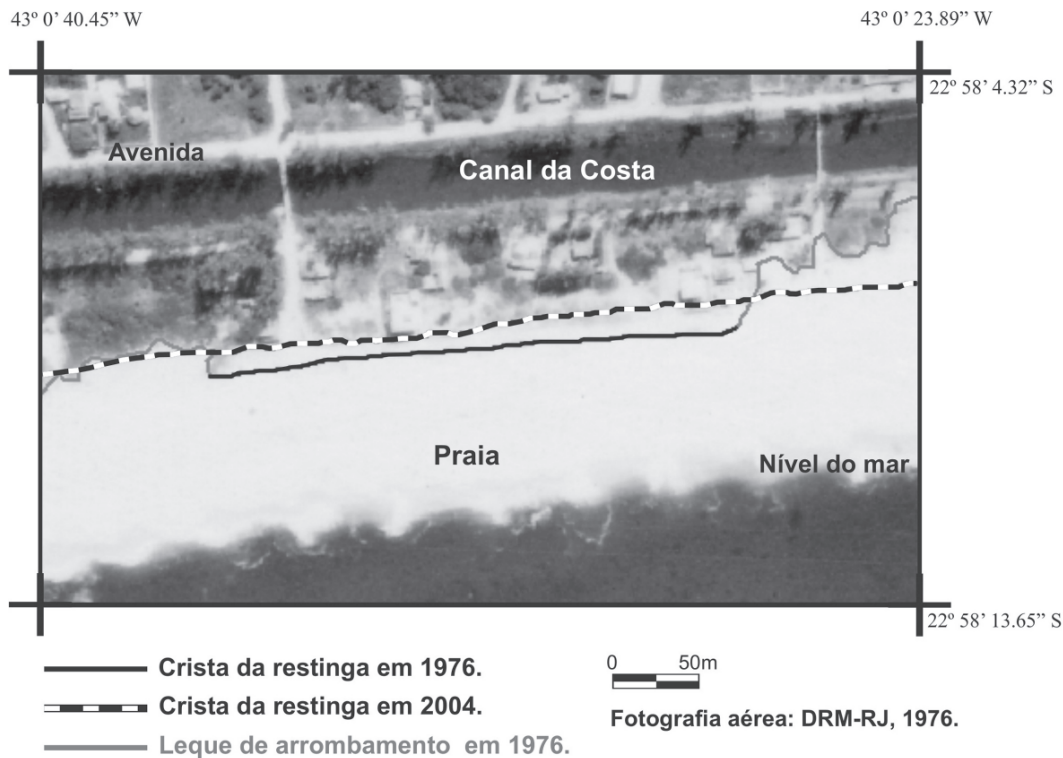


Figura 6 - Mapeamento da crista da restinga na parte oeste da praia de Itaipuaçu. Levando-se em consideração a posição da crista da restinga entre 1976 e 2004, constatou-se que a mesma retrogradou cerca de 13 metros.

Os resultados obtidos com o mapeamento da crista da restinga na barreira arenosa em Itaipuaçu deixam claro que ela vem retrogradando 13 metros aproximadamente entre 1976 e 2004. Tal tendência foi também apontada por Lins-de-Barros (2005), que sugere um recuo médio dessa linha de costa de 15 metros nos últimos 30 anos. No entanto, é importante ressaltar que os estudos realizados na praia de Itaipuaçu mostram que o ambiente de praia não está sofrendo erosão (SILVA, 2006; SILVA *et al.*, no prelo). Tal comportamento ocorre porque a praia vem sendo suprida pelo estoque de areias existente na parte submersa da praia e "shoreface", o que tem possibilitado a recomposição desta, pelo menos até o presente momento. Porém, a contínua remoção de sedimentos pelos processos de sobrelavagem e retirada ilegal de areia tende a mudar o cenário para o de erosão da praia.

Conclusões

O mapeamento da crista da restinga e dos leques de arrombamento na parte oeste da barreira arenosa da praia de Itaipuaçu permitiu estabelecer que este trecho vem apresentando um comportamento retrogradante da ordem de 13 metros em 28 anos (1976-2004). Isto pode ser constatado pela localização atual da praia em locais anteriormente (década de 90) ocupados pela vegetação de restinga e dunas. A restinga vem apresentando inúmeras alterações no período indicado: formação de leques de arrombamento, desaparecimento de dunas e da vegetação. Tais variações têm resultado freqüentemente na destruição de construções erguidas em local impróprio por se desconsiderar a dinâmica característica deste ambiente. Sendo assim, conclui-se que à parte oeste da bar-

reira arenosa em Itaipuaçu merece atenção especial por se tratar de um litoral com dinâmica acentuada e cuja barreira vem retrogradando em meio às construções, causando prejuízos materiais.

Agradecimentos

O presente estudo integra resultados obtidos no âmbito de uma dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha do Departamento de Geologia/UFF, voltada para o entendimento da dinâmica do litoral de Itaipuaçu. Agradecimentos à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e à FAPERJ pela bolsa de apoio técnico (Processo E-261151-353/01). Agradecemos também à DHN e à DRM-RJ por disponibilizarem as fotografias aéreas.

Referências bibliográficas

- Boak, E. H. & Turner, I. L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**. West Palm Beach, Florida. 21, 4, 688-703.
- Carter, R. W. G. 1988. **Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. London, Academic Press. pp. 99-134.
- Davis, Jr. A. R. & Fitzgerald, D. M. 2004. **Beaches and Coasts**. Blackwell Publishing. pp. 115-166.
- Donnelly, J. P., Butler, J., Roll, S., Wengren, M., Webb III, T. 2004. A Backbarrier Overwash Record of Intense Storms from Brigantine, New Jersey. **Marine Geology**, 210, pp. 107-121.
- Emery, K. O. 1961. A Simple Method of Measuring Beach Profiles. **Limnology and Oceanographic** V 6. pp. 90-93.
- Lins-de-Barros, F. M., 2005. Risco, Vulnerabilidade Física à Erosão Costeira e Impactos Sócio-econômicos na Orla Urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia** – Ano 6, nº 2, pp. 83-90.
- Morton, R. A., & Sallenger, A. H., Jr. 2003. Morphological impacts of Extreme Storms on Sandy Beaches and Barriers. **Journal of Coastal Research**. West Palm Beach, Florida. 19, 3, 560-573.
- Santos, R. H. de M. 2000. **Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Itaipuaçu, Maricá-RJ**. Trabalho de conclusão do curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense. pp. 1-79.
- Santos, C. L., Silva, M. A. M. & Salvador, M. V. S. 2005. Dinâmica Sazonal e os Efeitos das Ressacas nas Praias de Niterói/RJ. **Revista Brasileira de Geociências**. pp. 355-360.
- Silva, A. L. C. 2006. **Comportamento Morfológico e Sedimentológico do Litoral de Itaipuaçu (Marica) e Piratininga (Niterói), RJ, nas últimas três décadas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense. pp.153.
- Silva, A. L. C., Silva, M. A. M., Santos, C. L. (no prelo). Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ) nas Últimas Três Décadas. **Revista Brasileira de Geociências**.
- Small, C. & Nicholls, R. J. 2003. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. **Journal of Coastal Research**. West Palm Beach, Florida. 19, 3, pp. 584-599.
- Switzer, A. D., Bristow, C. S., & Jones, B. G. 2006. Investigation of Large-scale Washover of a Small Barrier System on the Southeast Australian Coast Using Ground Penetrating Radar. **Sedimentary Geology**, 183, pp. 145-156.
- Wang, P. & Horwitz, M. H. 2007. Erosional and Depositional Characteristics of Regional Overwash Deposits Caused by Multiple Hurricanes. **Sedimentology**, 54, pp. 545-564.
- Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A. & Chang, H. R. 2005. Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. **Science**, V. 309, pp. 1844-1846.