

AVALIAÇÃO MULTI-TEMPORAL DA EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA RESTINGA DA MARAMBAIA, RIO DE JANEIRO - BRASIL

Fabício Sanguinetti Cruz de Oliveira¹
Milton Kampel²
Silvana Amaral³

¹ University of São Paulo - USP
Oceanography Institute of the University of São Paulo
Department of Physical Oceanography
Praça do Oceanográfico, 191 - Cidade Universitária. 05508-900 - São Paulo - SP - Brasil
fabricio@io.usp.br; Ph.D. Student

² National Institute for Space Research - INPE
Remote Sensing Division
Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. Granja. 12227-010 - São José dos Campos - SP - Brasil
milton@dsr.inpe.br; Researcher, Ph.D.

³ National Institute for Space Research - INPE
Image Processing Division
Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. Granja. 12227-010 - São José dos Campos - SP - Brasil
silvana@dpi.inpe.br; Researcher, Ph.D.

ABSTRACT

The Restinga da Marambaia is an emerged sand bar located between the Sepetiba Bay and the South Atlantic Ocean, SE coast of Brazil. The objective of this study was to observe the geomorphologic evolution of the coastal zone of the Restinga da Marambaia using remotely sensed multi-temporal images from 1975 to 2004. A total of nine images acquired by the MSS, TM and ETM⁺ sensors on board the Landsat satellite series, and by the CCD sensor on board CBERS-2 satellite, were used in this study, respectively. The images were digitally classified based on the NIR band due to its low values of reflectance. The NIR bands were segmented by region growth algorithm and submitted to an unsupervised classification procedure (ISOSEG) followed by a raster edition based on visual interpretation at the scale of 1:50,000. The temporal series of images showed a general trend of decrease in the total sand bar area with values varying from 80.61km² in 1975 to 78.15km² in 2004. The total area calculation based on the 1975 and 1978 MSS images showed to be superestimated in relation to the TM, ETM⁺, and CCD images. These differences can also be associated to the relatively poorer spatial resolution of the MSS images, nominally 79m, against the 20m of the CCD and ETM⁺ images and 30m of the TM images. For the estimates of the width in the central portion of the sand bar the variation was from 158m (1975) to 100m (2004). The formation of a spit in the northern region of the study area was visually observed. The area of the spit was estimated with values varying from 0.82km² (1975) to 0.55km² (2004). The estimates calculated from the 1984 to 2004 images can also be related to tidal variations since individual time acquisition of each image was not necessarily the same. Moreover, it is possible to affirm that the coastal area of the Restinga da Marambaia is suffering an intense destructive process of erosion, mainly in its central portion.

Keywords: Remote sensing, Marambaia, multi-temporal analysis, coastal zone.

RESUMO

A Restinga da Marambaia é uma imensa barreira de areia localizada entre a Baía de Sepetiba e o Oceano Atlântico Sul, na costa sudeste do Brasil. O objetivo deste estudo foi observar a evolução geomorfológica da região costeira da Restinga da Marambaia usando imagens multi-temporais de sensoriamento remoto de 1975 a 2004. Foi usado um total de nove imagens, adquiridas através dos sensores MSS, TM e ETM⁺ a bordo da série de satélites Landsat e o sensor CCD a bordo do satélite sino-brasileiro CBERS-2, respectivamente. Foi feita uma classificação digital nas imagens utilizando a banda do infravermelho próximo (IVP) por

apresentar baixos valores de reflectância, conseqüentemente, pixels escuros. As bandas do IVP foram segmentadas por um algoritmo de crescimento de regiões e submetidas a uma classificação não-supervisionada (ISOSEG) seguida de uma edição matricial por interpretação visual na escala de 1:50.000. As séries temporais de imagens mostraram uma tendência geral de diminuição na área total da barreira de areia com valores variando de 80.61 km² em 1975 a 78.15 km² em 2004. O cálculo de área total, de acordo com as imagens MSS de 1975 e 1978 mostrou uma superestimação em relação às imagens TM, ETM⁺ e CCD. Essas diferenças podem estar associadas com a resolução espacial relativamente pobre das imagens MSS, 79m, contra os 20m das imagens CCD e ETM⁺ os 30m das imagens TM. Para a estimativa da largura da porção central da barreira de areia a variação foi de 158m (1975) a 100m (2004). A formação de um *spit* na região a norte da área de estudo foi visualmente observada. A área do *spit* foi estimada com valores variando de 0.82km² (1975) a 0.55km² (2004). O resultado das estimativas através das imagens de 1984 a 2004 pode estar também relacionado com a variação da maré uma vez que a aquisição das imagens não foi realizada necessariamente no mesmo horário. Apesar disto, é possível afirmar que a área costeira da Restinga da Marambaia está sofrendo um intenso processo destrutivo de erosão, principalmente na sua porção central.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Marambaia, análise multi-temporal, região costeira.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da costa brasileira pode-se observar cinco regiões fisiográficas distintas, definidas principalmente por elementos geológicos, oceanográficos e climáticos, sendo estas: litoral amazônico, litoral nordestino ou de Barreiras, litoral oriental, litoral sudeste ou das escarpas cristalinas e litoral meridional ou subtropical (Villwock, 1994). Inseridas nestas grandes regiões reconhecidas para a costa brasileira, ocorrem planícies formadas por sedimentos terciários e quaternários, freqüentemente associadas a desembocaduras de grandes rios e/ou reentrâncias na linha de costa, podendo estar intercaladas por falésias e costões rochosos ou não (Villwock, 1994) ao qual freqüentemente recebem o nome de "restinga". A principal característica dos ecossistemas de restingas é a presença de solos arenosos com baixa concentração de argila e matéria orgânica, baixa retenção de água e nutrientes (Hay e Lacerda, 1984). Planícies costeiras formadas pela justaposição de cordões litorâneos são uma das feições mais marcantes do litoral brasileiro, especialmente da sua porção sudeste e sul (Bigarella, 1947). Embora estes cordões litorâneos (restingas) sejam de difícil visibilidade em campo, tornam-se evidentes se vistos por sensores remotos orbitais ou aerotransportados. Muitos autores têm enfatizado o desafio relacionado ao sensoriamento remoto de ambientes tropicais, particularmente na zona costeira sujeita a um prolongado período com cobertura de nuvens, difícil acesso, altas temperaturas e umidade, e elevadas freqüências de inundação das áreas costeiras (Green et al., 1996). Dados orbitais de sensores remotos podem fornecer informações geomorfológicas úteis sobre as áreas emersas e de águas rasas. A utilização destes dados torna-se uma ferramenta fundamental em áreas onde a base cartográfica é inexistente, desatualizada ou apresenta uma escala inadequada, permitindo ainda a redução dos custos e tempo gastos no mapeamento (Jensen et al., 1990; Talley et al., 2003). Imagens de sensoriamento remoto, principalmente dos sensores a bordo dos satélites da série Landsat associados a técnicas de processamento digital de imagens têm sido historicamente utilizados como fonte de informações fundamentais para mapear e monitorar ecossistemas costeiros (Jensen, et al., 1993; Carvalho, 2003). O presente trabalho tem como objetivo, verificar a evolução geomorfológica da Restinga da Marambaia, formadora da Baía de Sepetiba, litoral do Estado do Rio de Janeiro, através de uma série multi-temporal de imagens de sensoriamento remoto, técnicas de processamento digital e interpretação de imagens de satélite em sistemas de informação geográfica.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Restinga da Marambaia está localizada entre a Baía de Sepetiba e o Oceano Atlântico, no município de Itaguaí, estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

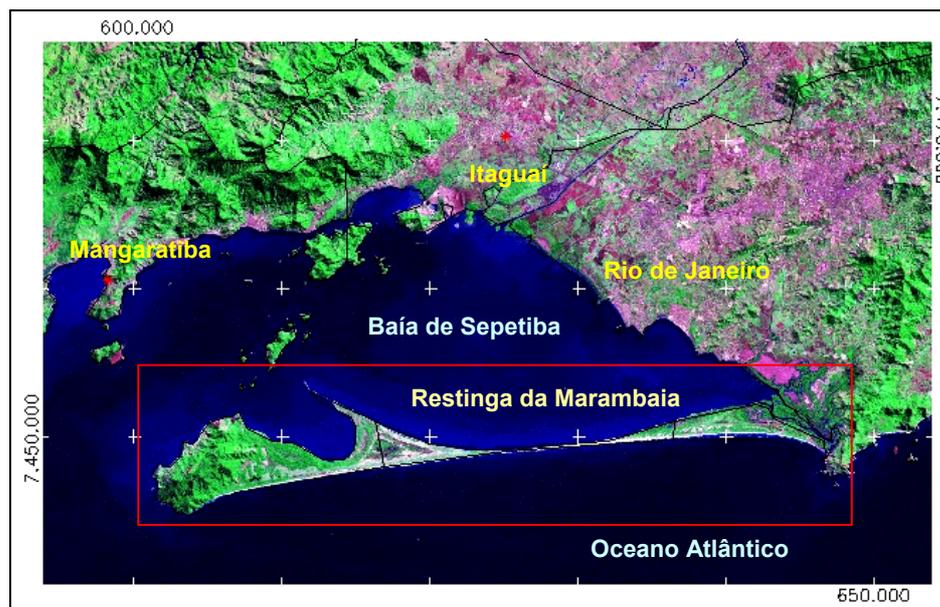


Figura 1 - Imagem LANDSAT-7/ETM⁺ (composição 2B4G7R) de 2000 mostrando a localização da área de estudo. Divisão política dos municípios de Mangaratiba, Itaguaí e Rio de Janeiro sobreposta à imagem.

Segundo SEMADS (2001), essa região abrange cerca de 79 km², compreendendo a restinga propriamente dita e o Morro da Marambaia. A restinga constitui uma imensa barragem de areia, que, apesar de baixa altitude, funciona como um dique, isolando as águas da Baía de Sepetiba do Oceano Atlântico. Possui 40 km de comprimento, estendendo-se da Barra de Guaratiba à leste até o Morro da Marambaia a oeste, e chega a distar 18 km do bordo continental. Na Barra de Guaratiba a restinga possui uma largura de 1.800 m, estreitando para 120 m na sua porção central e voltando a alargar-se, dando origem à pequena Baía de Mangaratiba. Sua largura máxima é de 5 km. Na porção leste a restinga apresenta um campo de dunas de até 30 m de altura e a oeste, planícies com altura máxima de 10 m, com a presença do pico rochoso da Marambaia que ascende a 640 m. Na parte central sua altura é de apenas 5 m. O clima na região, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no macroclima Aw (Clima Tropical Chuvoso), com temperaturas do ar típicas das áreas litorâneas tropicais. De acordo com Menezes (1996), a temperatura média anual na região é de 23,6°C, sendo mais alta em fevereiro, com 26,7°C, e mais frio em julho, com 21,0°C. A precipitação total anual média é de 1.027,2 mm, sendo o mês de agosto o mais seco, com média de 47,4 mm, e março o mais chuvoso, com 140,6 mm.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas um total de nove imagens, obtidas através dos sensores MSS, TM e ETM⁺ a bordo dos satélites da série Landsat (1, 3, 5 e 7, respectivamente) e do sensor CCD a bordo do satélite CBERS-2, como apresentado na Tabela 1, além das suas respectivas referências de data, bandas espectrais utilizadas e órbita-ponto.

Tabela 1 - Imagens de satélites utilizadas.

Data	Hora (GMT)	Sensor/Satélite	Bandas	Órbita/Ponto
1975/10/16	11:53	MSS/Landsat1	4, 5 e 6	233/76
1978/08/07	12:11	MSS/Landsat3	4, 5 e 6	233/76
1984/05/30	12:15	TM/Landsat5	3, 4 e 5	217/76
1990/03/12	12:12	TM/Landsat5	3, 4 e 5	217/76
1994/07/29	12:09	TM/Landsat5	3, 4 e 5	217/76
1996/06/16	12:05	TM/Landsat5	3, 4 e 5	217/76
2001/10/28	12:40	ETM ⁺ /Landsat7	3, 4 e 5	217/76
2003/05/27	12:49	ETM ⁺ /Landsat7	3, 4 e 5	217/76
2004/07/10	13:03	CCD/CBERS2	2, 3 e 4	151/126

O primeiro passo foi importar as imagens para um sistema de informação geográfica, SPRING (Câmara et al., 1996) e georreferenciá-las, utilizando como referência o mosaico de imagens Geocover de 2000, disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Foi aplicado um polinômio do primeiro grau, obtendo-se erros de posicionamento inferiores a um pixel e remapeando-se uma das imagens de modo a torná-la compatível com a projeção UTM e Datum WGS-84. Esta imagem, ETM⁺ de 2003, foi então utilizada como referência para corrigir as demais imagens. Para identificar a área de estudo e destacar os limites entre a restinga e as demais feições nas imagens, foram testadas diferentes metodologias, como: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973), Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) (Gao, 1996) e algumas composições coloridas. O método que apresentou melhor resultado foi a aplicação de um realce linear de contraste sobre cada uma das bandas na composição colorida R4G3B2. Para a classificação digital das imagens, optou-se por trabalhar com as bandas do infravermelho próximo (IVP), pois os corpos de água absorvem muita energia nesse comprimento do espectro, resultando em níveis de reflectância muito baixos, sendo representados nas imagens por pixels escuros. Esta característica permite o mapeamento da rede de drenagem e o delineamento dos limites dos corpos de água e da linha de costa. Esta faixa do espectro é ainda sensível à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre a geomorfologia, solos e geologia, sendo útil para a análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. As bandas do IVP foram então submetidas a segmentação por crescimento de regiões (Bins et al., 1996), utilizando limiares de similaridade e área variáveis em função da resolução das imagens. Para as imagens MSS foram usados limiares de similaridade de 7 e 4 de área. Para as imagens ETM⁺ e TM foram usados limiares de similaridade de 15 - 20 e de área de 20 - 25, respectivamente. Para a imagem CCD foram usados limiares de similaridade e de área iguais a 35 e 45, respectivamente. Após alguns testes, optou-se pela classificação não-supervisionada ISOSEG (Bins et al., 1993), que melhor detectou as diferenças entre a faixa de restinga e as outras feições na imagem. Após a classificação automática foi necessária uma edição por interpretação visual da imagem na escala de visualização de 1:50.000, para corrigir alguns erros do classificador.

4. RESULTADOS

A delimitação da área correspondente à Restinga de Marambaia foi estabelecida através de um critério visual, considerando a margem esquerda do canal mais a oeste do continente, que liga a Baía de Sepetiba ao Oceano Atlântico (Figura 3).

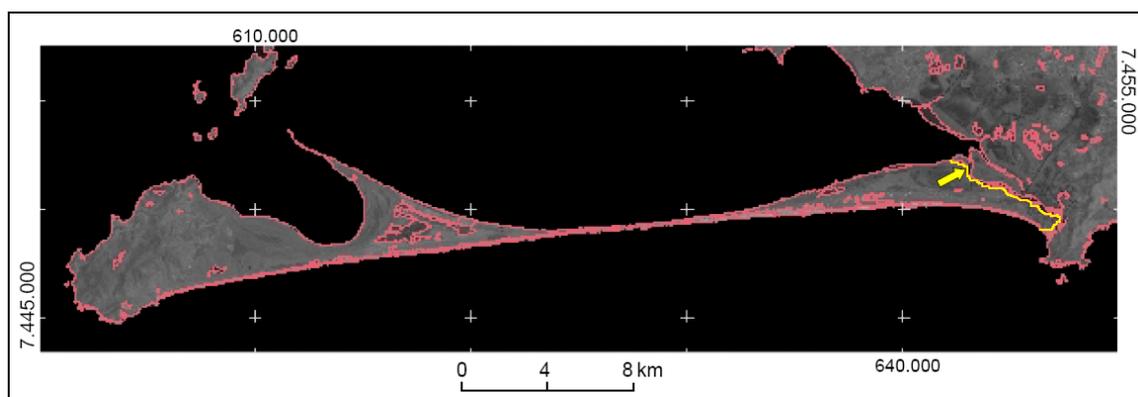


Figura 3 - Imagem ETM+/Landsat7 de 2001, banda 4, com o resultado da segmentação digital e o limite leste estabelecido da restinga indicado pela linha e seta amarela.

O resultado dos cálculos de área mapeada como restinga para a série temporal de imagens processadas é apresentado na Figura 4. Observa-se que os valores de área obtidos para as imagens MSS (1975 e 1978) superestimam os valores obtidos nos anos seguintes. Provavelmente, a pior resolução espacial destas imagens, que é de 79 m, ao uniformizar a resposta espectral dos alvos, restringiu a precisão do cálculo de área para a Restinga de Marambaia. Aconselha-se a interpretação dos dados, a partir de 1984, quando as imagens disponíveis têm resolução mais detalhada, permitindo assim uma análise mais precisa sobre os cálculos de área.

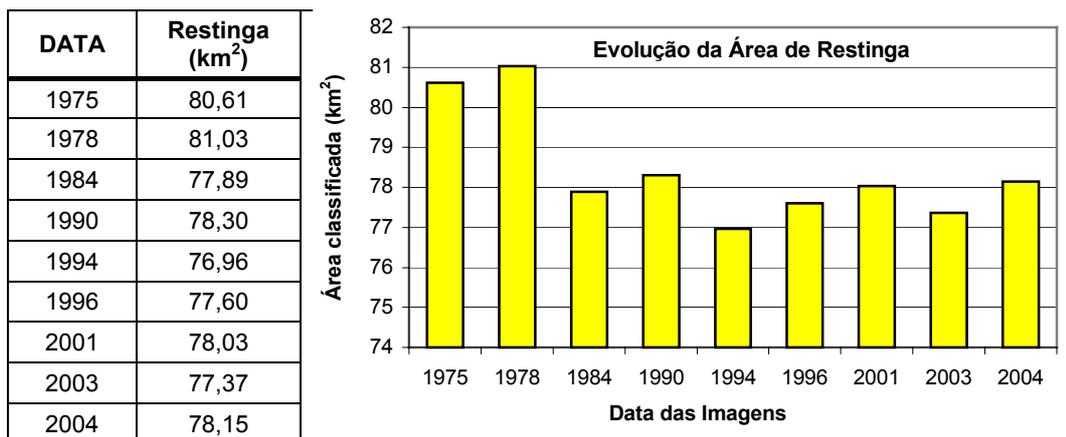


Figura 4 - Resultados do cálculo de área mapeada como restinga nas imagens de satélite para o período de 1975 a 2004.

Apesar da literatura descrever a Restinga da Marambaia com uma área de 79 km² (SEMADS, 2001), os valores encontrados no presente trabalho, desconsiderando as imagens de 1975 e 1978, estiveram abaixo do valor citado acima. A série temporal das imagens indicou valores crescentes a partir de 77,89 km² em 1984, até 78,15 km² em 2004. A média da série temporal contabilizando-se o resultado de todas as imagens correspondeu a 78,44 (± 1,42) km². Excluindo-se as imagens MSS, dos anos de 1975 e 1978 a média obtida foi de 77,76 (± 0,47) km². A variação observada entre os valores de área, no período de 1984 a 2004, também pode estar sendo influenciada pelo fato da área de estudo sofrer grande influência das marés. Como as imagens não foram adquiridas necessariamente no mesmo horário, a restinga pode ter sido imageada com altura de maré diferenciada nos vários anos. Através das imagens de satélite também foi possível fazer uma estimativa da largura da restinga na sua porção central. Observou-se uma variação decrescente de 158 m (1975) a 100 m (2004) (Figura 5). A largura média de toda a série temporal foi de 112,89 (±27,00) m. Excluindo-se os resultados obtidos com o sensor MSS essa largura média passou a ser de 100 (±10,00) m. A diferença observada entre os valores estimados pela imagem MSS e as demais imagens também está associada a pior resolução deste sensor, assim como aos efeitos de maré. Comparando o valor médio encontrado aqui e o valor de 120 m para o ano de 1981, encontrado por SEMADS (2001), pode-se afirmar que a área da Restinga da Marambaia ainda vem sofrendo intensos processos destrutivos de erosão.

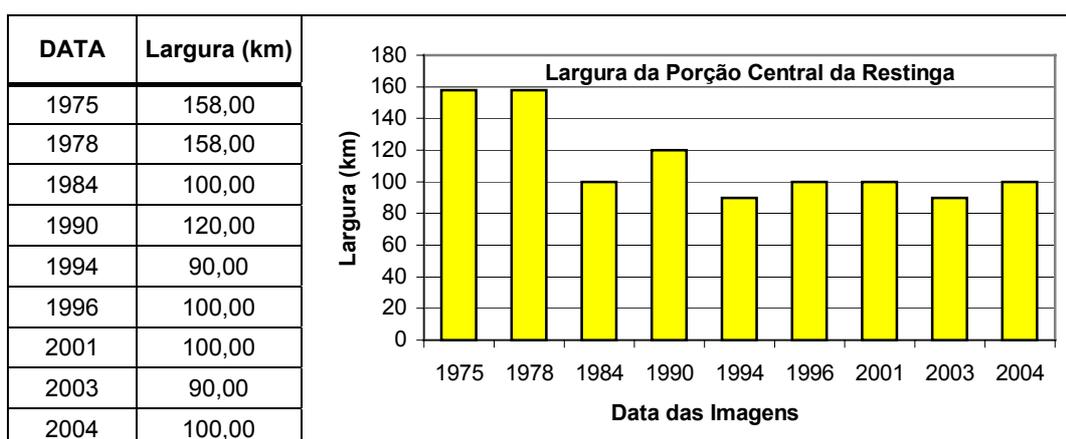


Figura 5 - Resultados do cálculo da largura da porção central da restinga nas imagens de satélite para o período de 1975 a 2004.

Na análise visual das imagens foi possível observar, ao longo da série temporal, a formação de um esporão arenoso "spit" na região mais ao norte da restinga. Desta forma foi realizada uma análise detalhada deste detalhe para determinar a evolução dessa feição (Figura 6).

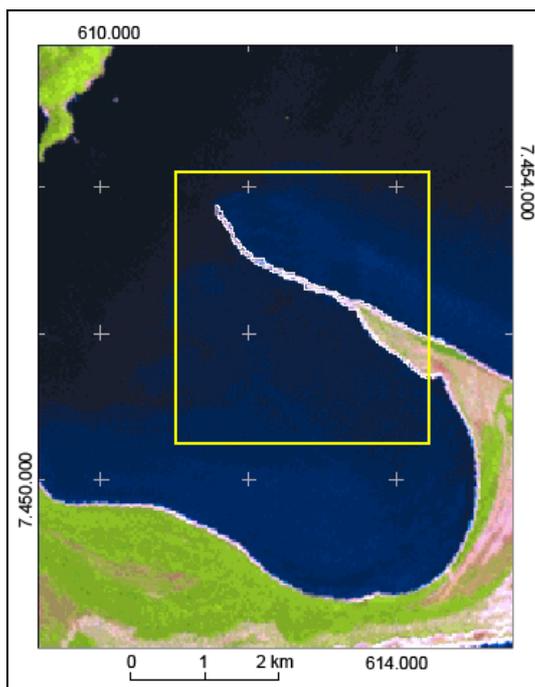


Figura 6 - Composição colorida 5R4G3B ETM⁺/Landsat7 de 2001, com destaque do *spit* em amarelo.

A série temporal das imagens indicou valores decrescentes de 0,61 km² em 1984, até 0,55 km² em 2004 para o cálculo de área do *spit* (Figura 7). A média da série temporal contabilizando-se os resultados de todas as imagens correspondeu a 0,64 (± 0,11) km². Excluindo-se as imagens MSS, dos anos de 1975 e 1978 a média obtida foi de 0,59 (± 0,04) km². Esses resultados dos cálculos de área do *spit* corroboram o observado no cálculo anterior da área mapeada como restinga, onde os valores de área obtidos para as imagens MSS (1975 e 1978) novamente aparecem superestimados em relação aos obtidos nas imagens de 1984 em diante, indicando que a baixa resolução espacial deste sensor diminui a precisão dos cálculos, unificando a resposta espectral dos diferentes alvos imageados em um único pixel. Além disso, é importante lembrar que por se tratar de uma feição rasa, formada pelo acúmulo de areia devido a processos erosivos, o *spit* é significativamente influenciado pela variação da maré.

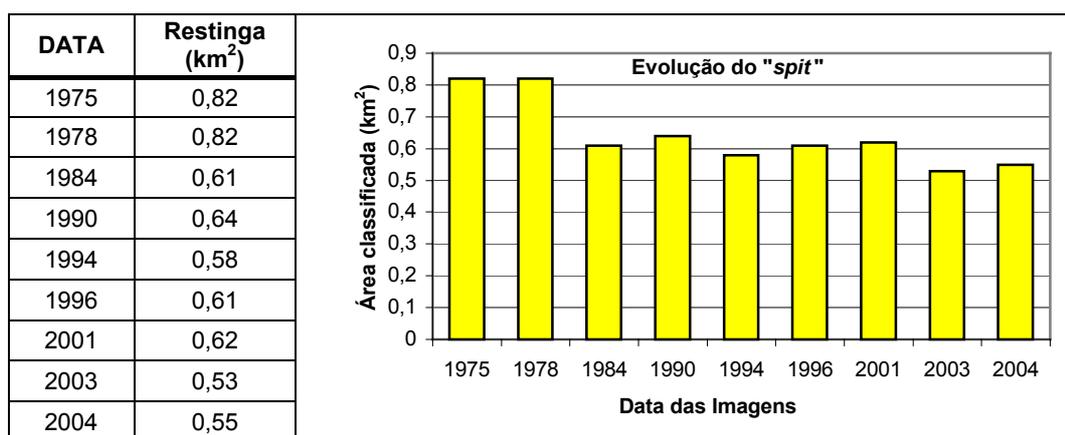


Figura 7 - Resultados do cálculo de área do *spit* para o período de 1975 a 2004.

CONCLUSÕES

- Os valores de área obtidos através dos sensores MSS (1975 e 1978) apresentaram uma diferença superior a 2 km² em relação a média total (78,44 km²) obtida com o uso de todos os sensores disponíveis - MSS, TM, ETM⁺ e CCD. É provável que essa diferença esteja relacionada a menor resolução espacial e radiométrica do sensor MSS. A variabilidade das

áreas calculadas no período de 1984 a 2004 pode também estar relacionada ao ciclo diário das marés e as fases da lua.

- No cálculo da largura da porção central da restinga novamente as imagens MSS superestimaram os valores em relação ao restante da série temporal. Considerando-se apenas a série temporal a partir de 1984 a largura média obtida foi de 100 m. Como os valores de largura calculados e a largura média foram inferiores ao citado na literatura (120 m), pode-se afirmar que a porção central da Restinga da Marambaia ainda vem sofrendo intensos processos destrutivos de erosão.
- Os valores de área do *spit* calculados através das imagens MSS também se mostraram discrepantes dos valores estimados com o uso dos outros sensores. A diferença encontrada foi maior que 0,15 km² em relação à média total (0,64 km²). Apesar da baixa resolução espacial do sensor MSS, sua maior importância reside no resgate de informações históricas sobre a região de interesse.
- A análise em detalhe evidenciou a significativa influência da variação das marés na área da Restinga da Marambaia, principalmente na feição identificada como *spit*, na região mais a norte da restinga.

BIBLIOGRAFIA

Bigarella, J.J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. B. Geogr. 55:747-779, 1947.

Bins, L.S., Erthal, G.J., Fonseca, L.M.G. Um método de classificação não supervisionada por regiões. In: Simpósio Brasileiro de computação Gráfica e Processamento de Imagem, 6., 1993. Recife: Anais. Recife, SBPC, 1993. p.65-68.

Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G.J.; Li, F.M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 8., 1996. Salvador. Anais. Salvador: INPE, 1996. p.221-223.

Câmara, G.; Souza, R.M.C.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented modelling. Journal of Computers & Graphics. 20(3):395-403, 1996.

Carvalho, M. Mapeamento da sensibilidade ao impacto por óleo de um segmento da costa entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará utilizando imagens ETM+/Landsat 7 e geoprocessamento. São José dos Campos, 253p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

Gao, B. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58, 257– 266, 1996.

Green, E.; Mumby, P.J.; Edwards, A.J.; Clarck, C.D. A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources. Coastal Management, v. 24, p. 1-40. 1996.

Hay, J.D.; Lacerda, L.D., 1984. Ciclagem de nutrientes no ecossistema de restinga. In: L.D. Lacerda, D.S.D. Araujo, R. Cerqueira e B. Turcq (eds.), Restingas: Origem, Estrutura, Processos. CEUFF, Niterói, pp. 459-475.

Jensen, J.R.; Ramsey, E.W.; Holmes, J.M.; Michel, J.E.; Savitsky, B.; Davis, B.A. Environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spills using remote sensing and geographic information system technology. International Journal of Geographical Information Systems, v. 4, n. 2, p. 181-201, 1990.

Menezes, L.F.T. Caracterização de comunidades vegetais praianas da Restinga da Marambaia, RJ. Dissertação de Mestrado, UFRRJ, 1996. 89p.

Rouse Jr., J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In S. C. Freden, E. P. Mercanti, & M. Becker (Eds.), Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Technical presentations, section A, vol. I (pp. 309 – 317). Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration (NASA SP-351).

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental. 2001. 73p.

Talley, D.M.; North, E.W.; Juhl, A.R.; Timothy, D.A.; Brower, J.F.C.; Brown, C.A.; Chasar, L.C.; Hall, C. J.; Meysman, F. JR.; Nemerson, D.M.; Souza Filho, P.W.M.; Wood, R.J. Challenges at the land/water interface. Estuarine Coastal And Shelf Science, v.58, p. 699-702. 2003.

Villwock, J. A. A Costa Brasileira: geologia e evolução. In: ACIESP (org.). 3º Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Brasileira. Anais v. 1. p. 1-15, 1994.