

CAPÍTULO X

MUDANÇAS NA SEDIMENTAÇÃO DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL NOS ÚLTIMOS 40 ANOS: RESULTADOS DO MANEJO EXCESSIVO

MUDANÇAS NA SEDIMENTAÇÃO DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL NOS ÚLTIMOS 40 ANOS: RESULTADOS DO MANEJO EXCESSIVO

Emiliano Castro de Oliveira¹

RESUMO

O rio Paraíba do Sul representa o maior rio, daí a grande importância para o desenvolvimento humano, do Vale do Paraíba (SP), onde nasce, e do estado do Rio de Janeiro onde deságua no oceano Atlântico. Junto à foz desenvolve-se um sistema deltaico, fruto das características naturais e da alta geração de sedimentos onde a bacia hidrográfica se insere, a Serra do Mar. O delta apresenta grande variação morfológica, devido à intensa deposição sedimentar, adquirindo características progradantes, representadas por uma extensa planície de cordões litorâneos. No entanto, a praia de Atafona (São João da Barra, RJ) localizada a sul da foz do rio Paraíba do Sul apresenta, desde a década de 50 do século passado, problemas de erosão relacionados com a dinâmica sedimentar do delta. O objetivo deste trabalho é o de apresentar uma visão sobre a referida dinâmica, uma vez que a ação humana no rio é extremamente elevada. Os materiais utilizados incluem sequências de imagens de satélite (ETM+Landsat) e dados de vazão, sedimentos em suspensão e de pluviosidade que serviram de base a análises espaciais da área de delta e das intervenções humanas realizadas ao longo do rio. Os resultados apontam para a contribuição humana nos processos de erosão e deposição que ocorrem no delta, devido à sucessiva construção de barragens e à captação de água para consumo industrial e agricultura latifundiária, diminuindo a capacidade de carga do rio. A dinâmica construtiva do delta foi interrompida, dando lugar ao retrabalhamento e distribuição dos sedimentos, alterando a configuração do delta e a destruição de áreas ocupadas, como o caso de Atafona. Medidas governamentais de grande porte como a revisão do ciclo de funcionamento das barragens e até mesmo a inutilização de algumas delas, podem remediar o problema, permitindo o rio retornar a um estado similar ao original.

Palavras-chave – Rio Paraíba do Sul, erosão, delta.

ABSTRACT

The Paraíba do Sul river is the longest river of the Paraíba Valley (SP), with great importance to human development in the São Paulo State, where born, and in the Rio de Janeiro State, where flows into the Atlantic Ocean. The river mouth is associated to a delta landforms dominated by wave action, and controlled by natural characteristics of catchment area lithology (Serra do Mar), river water discharge and the distribution of sediment by the ocean. The evolution of the delta involved intensive sediment deposition represented by extensive sandy ridges. The Atafona beach (São João da Barra, RJ) is located on the Paraíba do Sul delta, and since the 50's decade of past century this area has been showing erosion problems related with delta sedimentary dynamics. The aim of this paper is to present a new vision of the present sedimentary dynamics, and the impact of human actions within the Paraíba do Sul river system. The materials used combine sequential sets of Landsat ETM +, fluvial discharge, sediment load and rainfall data. The methodology included spatial analysis of delta area, and statistical analysis of data along the river. The results point to important human contribution on the natural processes and its morphodynamics. Successive construction of dams along the Paraíba river promoted a significant diminution of dynamic sediment budget, the uptake capture of water for industrial use and landowner intensive agriculture decrease the carrying fluxes of discharge capacity of the river. Constructive deltaic morphodynamic distribution of sediment was reduced, causing erosion in costal areas of the delta, including occupied areas like, Atafona beach. Large Some government measures as a review of the operating cycle of dams and even destruction of some of them, appear as possible form way of remediation to the problem by allowing the river to return to a state similar to without human intervention in its course.

Keywords – Paraíba do Sul river, erosion, delta.

¹ Centro Universitário Monte Serrat – UNIMONTE; Rua Comendador Martins, 52, Bairro Vila Mathias, CEP: 11015-530, Santos, São Paulo, Brasil, emiltri@gmail.com.

INTRODUÇÃO

As áreas costeiras são ambientes dotados de uma dinâmica bastante complexa e ativa, onde é possível observar a interface entre continente, oceanos e atmosfera sob a ótica de diferentes processos de sedimentação, erosão e modificação do relevo (GUERRA & CUNHA, 1998). Em alguns casos, a presença de rios pode contribuir para configurações mais complexas como, por exemplo, estuários e deltas.

Os deltas são áreas que apresentam, em planta, morfologia similar a um leque, posicionado na foz de um rio. São compostos por sedimentos transportados pelo próprio rio, em quantidades superiores a capacidade de remobilização das marés, ondas e correntes presentes na área de foz (DAVIS, 1984). De acordo com a dominância das capacidades de transporte de cada processo envolvido na remobilização de sedimentos, o delta pode ser classificado como dominado pelo rio, quando o acúmulo sedimentar adquire morfologias condicionadas pelo rio; dominado por marés, quando o acúmulo sedimentar do rio se torna retrabalhado pelas marés; e dominado por ondas, quando o acúmulo sedimentar do rio é retrabalhado pelas ondas que incidem na costa (DAVIS, 1984).

No caso dos deltas dominados pela ondulação, a dinâmica morfológica e sedimentar é bastante intensa, uma vez que é condicionada diretamente pela energia das ondas e carga sedimentar do rio. A distribuição dos sedimentos e morfologias associadas definem cordões litorâneos paralelos a linha de costa (DAVIS, 1984). A história evolutiva de um delta pode apresentar períodos mais longos de domínio de marés, ondulação ou do rio, como por exemplo em situações de variações no nível do mar (MARTIN *et al.*, 1993), nas quais o aumento do nível médio do mar pode causar a retração do delta assim como a descida pode provocar progradação e, conseqüentemente, aumentar a área exposta do delta. Do ponto de vista morfológico, as modificações na linha de costa se dão, em geral, em função da falta ou excesso de sedimentos em relação ao nível do mar, sendo que a falta de sedimentos pode ser provocada, naturalmente, por mudanças na área fonte e no regime das descargas, no caso dos deltas dominados pela ação fluvial. Embora o processo de erosão, causado pela falta de sedimentos,

possa ter origem natural, cada vez mais se torna visível os efeitos decorrentes de modificações feitas pelo homem, tais como a construção de barragens, transposições do fluxo dos rios e outras obras que provocam interferência no fluxo de sedimentos ao longo da costa (MUEHE, 2006). A construção de uma barragem representa um obstáculo ao transporte de sedimentos, além de reduzir a energia do fluxo do rio na área do reservatório, fatos que ocasionam a deposição de sedimentos nos reservatórios das represas.

Interferências antrópicas no curso dos rios influem diretamente na dinâmica deltaica. Modificações na morfologia de canais e de deltas estão diretamente associadas à construção de barragens no rio Ebro, na Espanha (BATALLA, 2003) e no rio Amarelo, China (CHU, 2014). No caso do rio Ebro, a retenção de sedimentos nas barragens está relacionada ao fluxo com maior poder de erosão a jusante das barragens. Já no delta do rio Amarelo ocorreu mudança de comportamento morfológico, passando de feição progradante a feição retrogradante (erosiva) (CHU *et al.*, 2006). Ainda na China, Yang *et al.* (2014) acompanharam o processo de preenchimento do reservatório da represa das Três Gargantas (rio Yangtze) durante 10 anos, e pode observar uma elevada retenção de sedimentos, da ordem de 1,8 bilhões de toneladas.

As modificações morfológicas apresentam-se à escala de dezenas de quilômetros numa área contrastante, correspondente à interface continente/oceano. Desta forma, as alterações podem ser observadas e monitoradas através do uso de fotografias aéreas e imagens de satélite (FLOREZANO, 2002). A análise sistemática de imagens permite o estudo detalhado de como a linha de costa de uma área evolui, permitindo ainda perceber a influência das intervenções humanas.

CONTEXTO REGIONAL

A zona terminal do rio Paraíba do Sul é uma planície costeira associada a um delta dominado pela ondulação, estando localizada na porção nordeste do estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Apresenta um área de aproximadamente 2.500 km², estendendo-se para o interior do estado até ao contato com as rochas do embasamento e os depósitos terciários do Grupo Barreiras. O sistema deltaico é caracterizado por duas zonas com distinto comportamento morfológico: o litoral progradante, entre Porto de Mangueiros e Cabo de São Tomé; e pelo litoral retrogradante entre Cabo de São Tomé e Macaé (BASTOS & SILVA, 2000) (Figura 2). A planície costeira apresenta altitude máxima de 12 m e diversas lagoas e lagunas. A Lagoa Feia, a maior da região, representa um testemunho de uma paleolaguna formada entre 6.000 e 4.000 anos A.P., quando o rio Paraíba do Sul construiu um delta desenvolvido num sistema barreira/laguna. (MARTIN *et al.*, 1993).

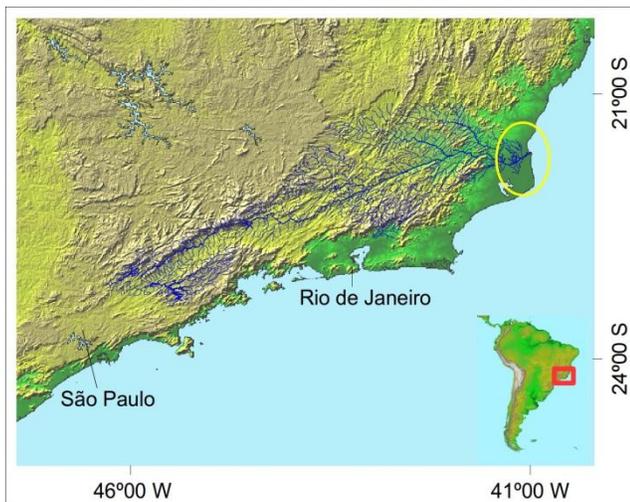


Figura 1. Localização da área de estudo, com ênfase para a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

A planície deltaica do rio Paraíba do Sul foi intensamente perturbada pelo homem, com a construção de uma extensa rede de canais artificiais de drenagem, responsáveis pelo rebaixamento do lençol freático e ressecamento de muitas lagoas e pântanos, e diques marginais artificiais, construídos ao longo do rio Paraíba

do Sul para impedir o seu transbordo junto a áreas com ocupação antropogênica (MARTIN *et al.*, 1993).

Além das intervenções na planície deltaica e zona costeira, o rio Paraíba do Sul vem sofrendo inúmeras intervenções no seu curso desde a área de formação, no estado de São Paulo, a partir do encontro dos rios Paraitinga e Paraibuna. A construção de barragens ao longo do percurso e a transposição para o rio Guandú, na cidade do Rio de Janeiro, modificaram significativamente, ao longo dos últimos 60 anos, o volume de água do rio e a capacidade de carga de sedimentos (MARENGO & ALVES, 2005).

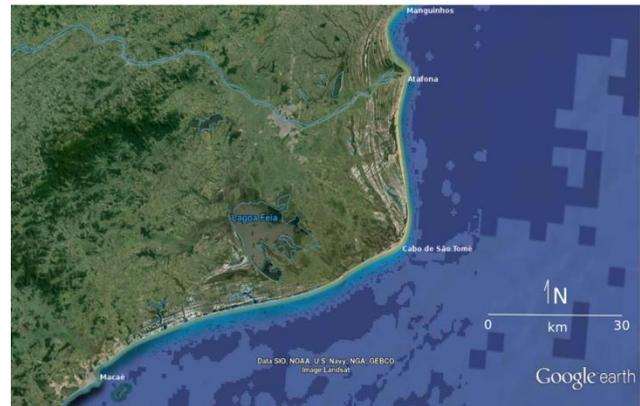


Figura 2. Detalhe do delta do rio Paraíba do Sul (Google, 2015), em azul principais massas d' água. Nesta imagem é possível observar a morfologia deltaica, composta por cristas acionárias arenosas.

JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Problemas de urbanização associados a variações de linha de costa são comuns em diversos lugares do mundo. Os problemas relativos à erosão da costa na praia de Atafona (Figura 3), no município de São João da Barra são conhecidos desde a década de 80 do século passado (DOMINGUEZ *et al.*, 1981), onde a área urbanizada vem sendo sucessivamente erodida pelo mar (Figura 4). Não se sabe ainda qual a influência das modificações humanas no curso do rio Paraíba do Sul, provedor de sedimentos da região, neste processo erosivo. As impressões observadas diretamente na paisagem atual, de um sistema progradante com formação sucessiva de cordões litorâneos, é algo bem distinto do que passou a ser observado nos últimos 30 anos. A este fato acresce,

ainda, a recente instalação de barragens na região de Queluz (SP) e a possibilidade de transposição de parte da água do rio, para auxílio no abastecimento dos reservatórios da grande São Paulo. Dados analisados no trabalho de Marengo e Alves (2005) indicam que a precipitação aumenta sutilmente, enquanto os níveis de vazão e cota do rio caem sistematicamente.



Figura 3. Área Urbana de Atafona onde ocorre o processo erosivo da Costa.

O objetivo do presente trabalho é o de analisar as variações na linha de costa da zona leste do estado do Rio de Janeiro com ênfase na dinâmica costeira do delta do rio Paraíba do Sul, a fim de compreender como as interferências antrópicas no curso do rio, nos últimos 60 anos, contribuíram para modificar a morfologia costeira.



Figura 4. Praia de Atafona, com destaque para as ruínas de construções erodidas pelas ondas nos últimos 60 anos (Prefeitura Municipal de São João da Barra).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo de variação de linha de costa foram utilizados conjuntos de imagens de satélite Landsat ETM+, referentes ao intervalo de anos entre 1973 e 2014, de acesso livre (por exemplo IPT, DRM-RJ, CPRM, INPE, no Brasil, e Universidade de *Maryland*, NASA, JPL-NASA e USGS nos EUA). As imagens foram analisadas com recurso do *software SIG Global Mapper 14*, versão de testes. Os dados de pluviosidade, fluxo, sedimentos em suspensão e topográficos foram obtidos através do sítio *HidroWeb*, da Agência Nacional de Águas, e analisados em *software* de planilhas e cálculos *LibreCalc*.

Definiu-se em campo um conjunto de georreferências, os quais foram integrados nas imagens, a fim de se criar pontos confiáveis para as medidas de distâncias e comparações. Em sequência, as fotografias e imagens foram tratadas, com auxílio do *software* de geoprocessamento para se obter, de acordo com a data da imagem, o posicionamento da linha de costa, e por consequência o comportamento (erosão ou progradação) relativo as imagens dos demais anos analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da análise das imagens de satélite indicam regressão da linha de costa na área terminal, planície deltaica inferior, do rio Paraíba do Sul (Figura 5) e progradação nas áreas simetricamente mais afastadas da desembocadura (Figura 6), seguindo um padrão oscilante, durante a série temporal analisada (1973 a 2014). Modificações como estas são descritas no rio Amarelo, China, onde processos erosivos passaram a suplantar a progradação do delta, principalmente após grandes construções de barragens (CHU *et al.*, 2006).

O processo de erosão associado à foz do rio causou a diminuição das áreas emersas nesta região. A feição morfossedimentar do esporão arenoso de Atafona, presente no ano de 1973, deixou de existir completamente durante a série temporal analisada (Figura 6).

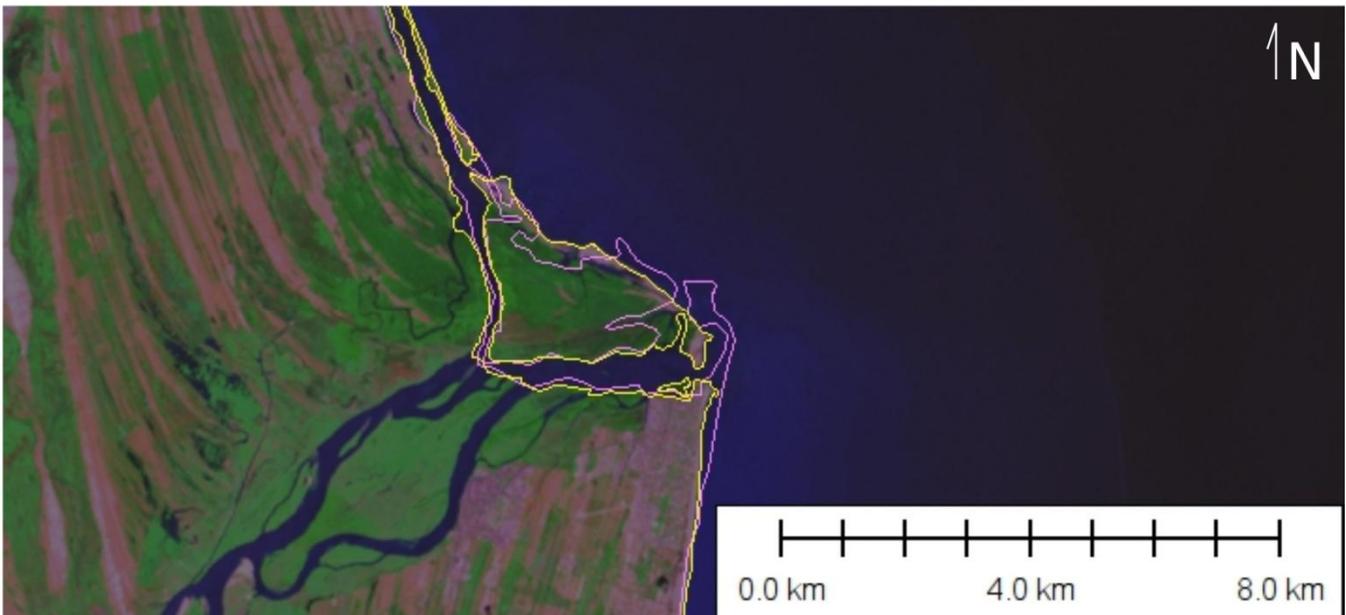


Figura 5. Imagem Landsat do ano de 2014 (composição RGB) com a marcação da linha de costa em 1973 (rosa) e em 2014 (amarelo).

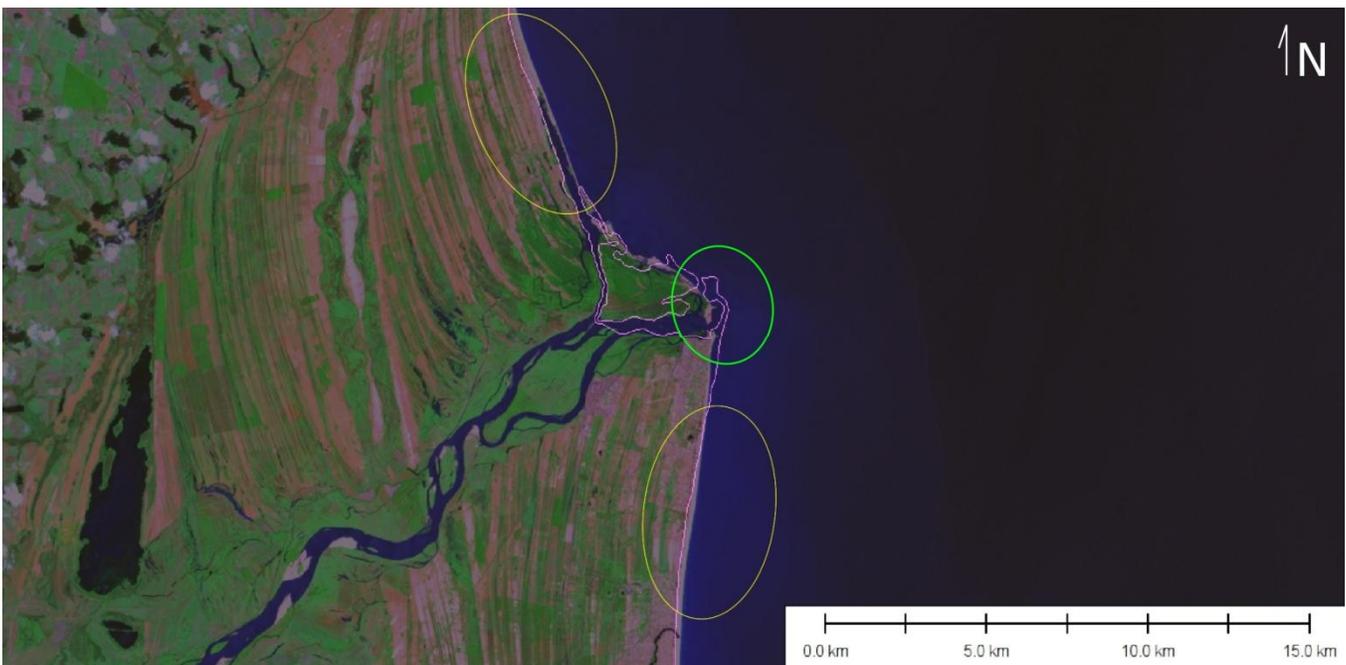


Figura 6. Imagem Landsat do ano de 2014 (composição RGB), detalhando a área de foz do rio Paraíba do Sul, com as marcações da linha de costa de 1973 (rosa), áreas onde ocorre progradação (amarelo) e área de erosão do esporão arenoso (verde).

Os padrões de acreção e progradação dos cordões litorâneos apresentam crescimento uniforme, com morfologia ligeiramente em cunha nas proximidades da atual desembocadura, até ao limite da planície deltaica. As áreas de progradação mais recentes, formadas a partir de 1973, apresentam morfologias que se acunham em direção à foz do rio, onde adquirem características erosivas (Figura 7).

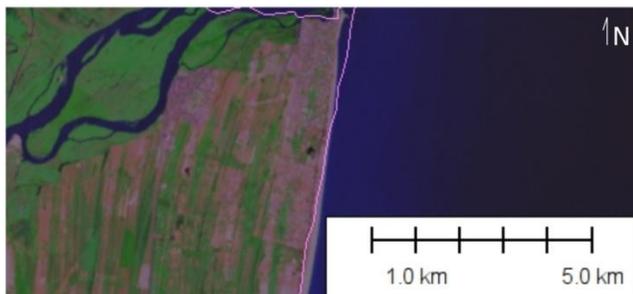


Figura 7. Imagem Landsat de 2014 (composição RGB) onde se pode observar a inversão do processo de acreção (progradação a sul, e erosão a norte), evidenciado pela posição da linha de costa em 1973 (rosa) face à posição atual.

As imagens de satélite mostram que o caráter deposicional do delta do rio Paraíba do Sul sofreu alterações significativas. A presença simultânea de processos erosivos e deposicionais, em áreas tão próximas e comuns ao sistema deltaico, indica que os sedimentos previamente acumulados estão sendo remobilizados da área de desembocadura e depositados nas áreas mais afastadas do delta. Esta dinâmica é natural e é a responsável pelas características morfológicas de um delta dominado por ondas.

A mudança morfológica da foz do rio Paraíba do Sul aponta para que, nos períodos anteriores a 1973, a carga sólida transportada pelo rio era muito maior que a capacidade de retrabalhamento dos sedimentos pela ondulação, resultando na construção de um esporão ou barreira arenosa natural, o “esporão de Atafona”. Esta estrutura sedimentar foi sendo gradualmente removida pela ação dos processos costeiros que, a partir de 1973, passou a ser mais predominante sobre os sedimentos depositados. No exemplo observado no delta do rio Amarelo, China, esta inversão de progradação para erosão foi associada à construção de barragens, responsável por modificar taxas de fluxo e carga de sedimentos (CHU *et al.*, 2006).

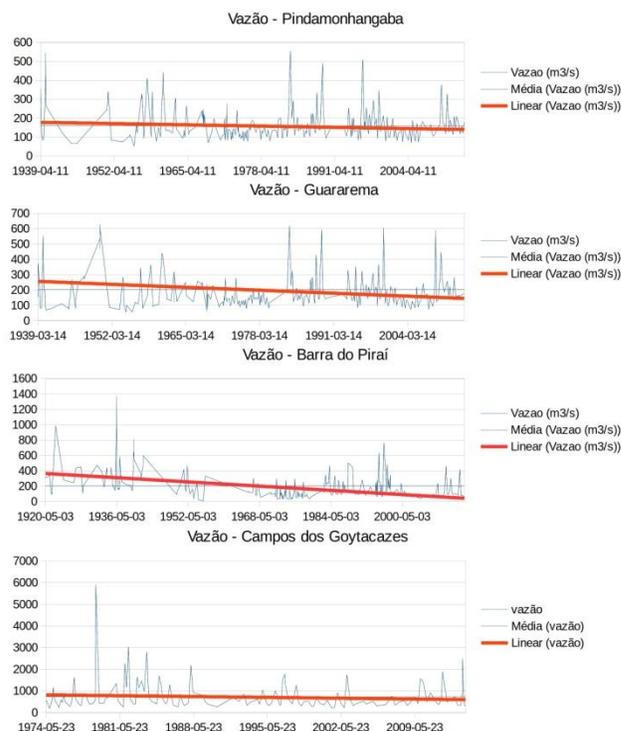


Figura 8. Variação da descarga média do rio Paraíba do Sul com reta de tendência (vermelho).

A análise dos dados fluviais, associados ao rio Paraíba do Sul, concentrou-se nos dados de vazão e carga sedimentar. Os primeiros são apresentados em séries históricas com início em 1920, 1939 e 1974, em função das estações e mostram, ainda que sutilmente, quebra na vazão média do rio (Figura 8). Em relação aos dados de carga sedimentar em suspensão, as séries históricas são mais recentes, 1989 e 1994, e mostram um decréscimo nos valores médios (Figura 9). A análise da pluviosidade média registrada na bacia hidrográfica, com séries históricas a partir de 1943, 1952 e 1955, mostra um ligeiro aumento de valores (Figura 10).

O estudo demonstra tendências de decréscimo na vazão e no volume de sedimentos em suspensão e aumento na pluviosidade. A queda dos dois primeiros parâmetros é gradual na série histórica e se associa ao processo de desenvolvimento industrial e urbano das áreas na dependência do rio Paraíba do Sul. Além do aumento do consumo de água do rio, ocorreu a instalação de 6 barragens (das 9 existentes), durante o período analisado,

para a produção de energia elétrica e controle dos períodos de seca e cheia. A série temporal relativa à pluviosidade leva a admitir que a situação de diminuição de fluxo de água e carga sedimentar em suspensão não é natural, uma vez que as chuvas vêm aumentando na região da bacia hidrográfica. Este comportamento é observado também no rio Yangtze (YANG *et al.*, 2014), onde as taxas de fluxo de água e carga sedimentar diminuíram, apesar de não ter ocorrido mudança no regime de chuvas na bacia hidrográfica.

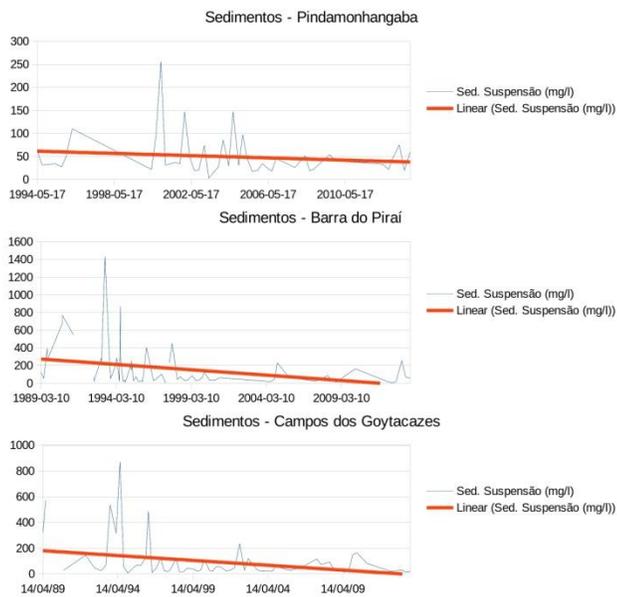


Figura 9. Variação da carga sedimentar em suspensão no rio Paraíba do Sul, registrada em diferentes estações, e respectiva reta de tendência (vermelho).

Os dados analisados mostram que a dinâmica de sedimentação deltaica da foz do rio Paraíba do Sul foi alterada em resultado de diversas interferências antrópicas no curso do rio, como a construção de barragens e a captação excessiva de água. Medidas de contenção e direcionamento da sedimentação em deltas não se mostram eficientes, uma vez que a redução da carga sedimentar é o principal fator controlador do processo de progradação do delta (Bi *et al.*, 2014).

A identificação da real capacidade de construção do delta em função da carga sedimentar do rio seria um importante fator para regular a exploração, e consequente modificação, do rio, permitindo que os processos naturais de progradação se mantenham.

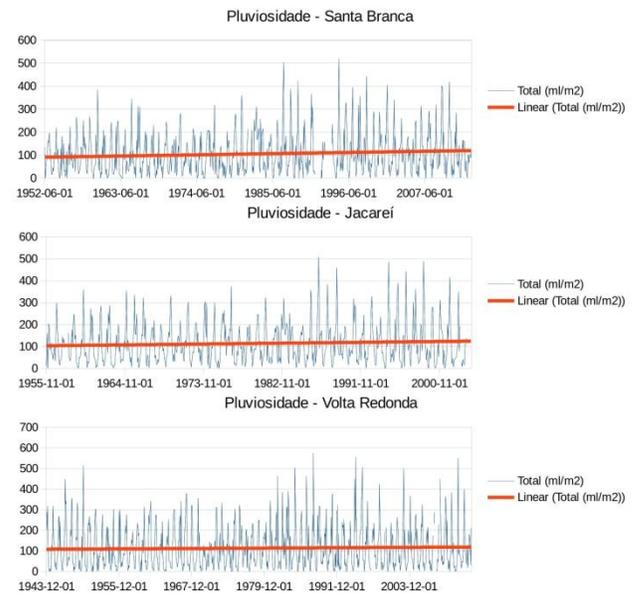


Figura 10. Pluviosidade média, em diferentes períodos, observada em três estações localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul com reta de tendência (vermelho).

CONCLUSÕES

A mudança do caráter deposicional para erosivo do delta do rio Paraíba do Sul se relaciona diretamente com o decréscimo do volume e energia do fluxo de água e do volume de sedimentos transportados. Em contraste observa-se o aumento da pluviosidade média na bacia hidrográfica.

O rio possui 9 barragens e um sistema de transposição que abastece o rio Guandú, principal fonte de água da Baixada Fluminense (11 milhões de pessoas; alto nível industrial).

A distribuição sedimentar atual indica que as ondas estão retrabalhando sedimentos já antes depositados, e não somente o material trazido na atualidade pelo rio. A dinâmica construtiva do delta encontra-se alterada bem como a sua morfologia.

O mesmo tipo de processo erosivo é observado em outras localidades do mundo, sendo que a interferência antrópica, principalmente com a construção de barragens, é apontada como responsável por tais alterações.

Medidas governamentais de grande porte como a revisão do ciclo de funcionamento das barragens e, até

mesmo, a inutilização de algumas delas, aparecem como possíveis formas de remediação do problema, que põe em risco direto o distrito de Atafona.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, A.C.; SILVA, C.G. 2000. Caracterização morfodinâmica do litoral norte fluminense, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48 (1): 41-60.
- BI, N.; WANG, H.; YANG, Z. 2014. Recent changes in the erosion–accretion patterns of the active Huanghe (Yellow River) delta lobe caused by human activities. *Continental Shelf Research*, 90: 70-78.
- CHU, Z.X.; SUN, X.G.; ZHAI, S.K.; XU, K.H. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Marine Geology*, 227(1): 13-30.
- CHU, Z. 2014. The dramatic changes and anthropogenic causes of erosion and deposition in the lower Yellow (Huanghe) River since 1952. *Geomorphology*, 216: 171-179.
- DAVIS, R.A. 1984. *Depositional systems: an introduction to sedimentology and stratigraphy*. Prentice Hall, 604p.
- DOMINGUEZ, J.M.L; BITTENCOURT, A.C.S.P; MARTIN, L. 1981. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geologia*, 11 (4): 227-237.
- FLORENZANO, T.G. 2002. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. Oficina de Textos, 97p.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. 1998. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Russel, 3 ed., Rio de Janeiro, 472p.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. 2005. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20 (2): 215-226.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. 1993. As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros. *Boletim IG-USP*. Publicação Especial, Brasil, 15: 1-186.
- MUEHE, D. 2006. *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 476p.
- USGS. 2014. *Landsat Missions*. Imagens disponibilizadas na internet, através do endereço: <http://landsat.usgs.gov>.
- VILLANUEVA, R.J.B. 2003. Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining: A review with examples from NE Spain. *Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario*. 17(3): 79-91.
- YANG, S.L.; MILLIMAN, J.D.; XU, K.H.; DENG, B.; ZHANG, X.Y.; LUO, X.X. 2014. Downstream sedimentary and geomorphic impacts of the Three Gorges Dam on the Yangtze River. *Earth-Science Reviews*, 138: 469-486.