

**A DINÂMICA COSTEIRA E OS PROCESSOS EROSIVOS NA
FOZ DO RIO DOCE, ESPÍRITO SANTO – BRASIL**

**THE COASTAL DYNAMIC AND THE EROSION PROCESS AT THE
DOCE RIVER MOUTH, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL**

Fábio Marques APRILE¹
Reinaldo LORANDI²
Irineu BIANCHINI JUNIOR³

RESUMO

O rio Doce é um dos maiores rios da região sudeste do Brasil, com sua foz situada no município de Regência (19,6°S e 39,8°W). O clima é do tipo “Aw”, com verão quente e úmido. Esta pesquisa foi desenvolvida entre 1993 e 1998, com o objetivo de avaliar a influência da dinâmica costeira e dos processos erosivos na geomorfologia da foz do rio Doce. Foram realizadas análises texturais e químicas, incluindo teor de fósforo total e % matéria orgânica, em amostras de solos e sedimentos. Os resultados mostraram que o sistema fluvial é fortemente influenciado pelos fatores litológicos locais, e pela interferência humana sobre a vegetação nativa. A foz do rio Doce mostrou um acelerado processo de erosão de suas margens, com grande capacidade de transporte de material dissolvido e em suspensão, principalmente durante as chuvas. Uma nova descrição cartográfica baseada na geomorfologia da região, foi apresentada neste trabalho.

Palavras-chave: Dinâmica costeira, Processos erosivos, Rio Doce, Sedimentação, Brasil.

ABSTRACT

The Doce River is one of the largest rivers of southeastern Brazil, with its mouth situated in the municipality of Regência (19.6°S, 39.8°W). Regional climate is “Aw” with warm and rainy summers. This research was carried out between 1993 and 1998, with the aim of assessing the influence of the coastal dynamic and erosion processes on the Doce River mouth geomorphology. Textural and chemical analyses were performed on the soils and sediments collected including total phosphorus and organic matter. The results show that the river system is strongly influenced by regional lithological factors and human interference on the vegetation. The Doce River mouth shows accelerated erosion on the

¹ Centro de Pesquisas em Biologia Aquática, INPA, Avenida André Araújo 2936 CEP:09060-001 Manaus, AM E-mail:aprilfim@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Civil/CCT, UFSCar, São Carlos, SP. E-mail:lorandi@power.ufscar.br

³ Departamento de Hidrobiologia, UFSCar, São Carlos, SP. E-mail:irineu@power.ufscar.br

banks, with a high level of dissolved and suspended matter transported, mainly at rainy season. A new description of special cartography in applied geomorphology is presented in this study.

Key words: Coastal dynamic, Erosion processes, Doce River, Sedimentation, Brazil.

INTRODUÇÃO

Os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas, e dos continentes para o mar. Sua importância é capital entre todos os processos morfogenéticos.

A sedimentação fluvial inclui os processos de remoção, transporte e deposição das partículas do regolito, envolvendo toda a dinâmica da bacia de drenagem. Toda bacia fluvial é responsável pelo fornecimento detrítico aos cursos de água que, em conjunto, torna-se o fenômeno natural de maior ocorrência na esculturação da rede de canais e da paisagem presente no entorno da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo MAHIQUES (1995), estudos relacionados aos mecanismos de dinâmica costeira, são fundamentais na interpretação dos processos de troca de partículas sedimentares entre a área costeira e a plataforma continental. O autor estudando os processos hidrodinâmicos que regem a sedimentação da região costeira de Ubatuba, Estado de São Paulo, identificou as zonas de deposição e os fluxos responsáveis pela dinâmica sedimentar costeira.

A compreensão dos processos sedimentares em regiões costeiras, particularmente em zonas estuarinas, a partir da composição granulométrica, classes texturais e principalmente concentrações de elementos orgânicos, tem sido muito utilizada recentemente (BALLS, 1994; MAHIQUES, 1995; LINDSAY *et al.*, 1996; SHUM & SUNDBY, 1996; HUGHES *et al.*, 1998; MAHIQUES *et al.*, 1998).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da dinâmica costeira e dos processos erosivos, sobre a geomorfologia da foz do rio Doce durante a última década. Para tanto foram utilizadas técnicas de análise textural e química, em solos e sedimentos amostrados na região.

ÁREA DE ESTUDO

O rio Doce possui cerca de 800 km de extensão, sendo 180 km percorridos no Estado do Espírito

Santo. O rio nasce no Estado de Minas Gerais, no contraforte da Serra da Mantiqueira e Serra do Espinhaço, no município de Ressaquinha, com o nome de rio Piranga. Conserva este nome até sua confluência com o rio do Carmo, e inicia então sua descida até o Oceano Atlântico, já com seu nome definitivo (APRILE *et al.*, 1994a). Sua foz está situada a 19,6° Sul e 39,8° Oeste (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo "Aw" com verão quente e úmido e inverno seco. As precipitações máximas ocorrem entre dezembro e janeiro com médias de 244,4 mm, e as mínimas em julho com médias de 50,3 mm (APRILE *et al.*, 1994b).

Para SUGUIO *et al.* (1982), o abaixamento do nível relativo do mar de 4 a 5 metros no decorrer dos últimos 5.000 anos, desempenhou um papel essencial na construção da planície costeira do rio Doce. A faixa costeira de terrenos pliopleistocênicos foi em sua maior parte alterada pela agropecuária, sendo empregado o sistema de abertura de canais para drenagem da água em excesso.

O rio Doce funciona como um canal de escoamento, e sua alimentação se processa principalmente de águas superficiais. A planície sedimentar quaternária situada de um lado a outro da desembocadura do rio, é uma zona associada ao curso fluvial, tratando-se de um delta. De acordo com BACCOLI (1971) *apud* IBGE (1987), o delta do rio Doce é o mais importante do litoral brasileiro, excedendo 2.500 Km². Apresenta características de delta destrutivo, dominado por ondas e com um único canal fluvial sem meandros nem tributários, que lança ao mar grande quantidade de material clástico.

Há um predomínio de solos arenosos cobertos por formações pioneiras, representadas por vegetações herbáceas, restinga arbustiva e manguezais. A vegetação têm influência fluviomarina, e a medida que vai se expandindo, vai dando um aspecto xeromórfico à região. Em um segundo plano tem-se os cordões litorâneos, raramente atingidos pelas marés, onde se encontra a restinga arbórea (APRILE *et al.*, 1994b). Um mapeamento detalhado dos solos da região foi apresentado por APRILE *et al.* (1998).

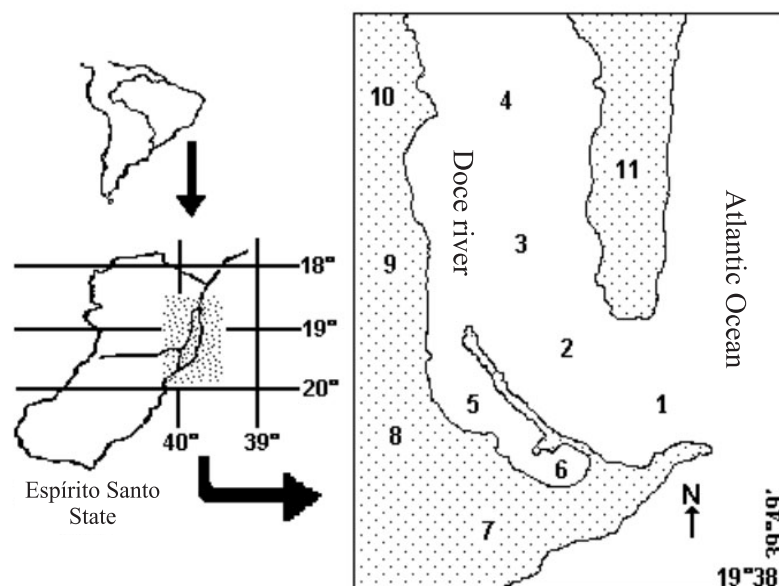


Figura 1. Mapa da foz do rio Doce (Espírito Santo, Brasil), com a localização dos pontos de amostragem.

MATERIAIS E MÉTODOS

A descrição cartográfica foi obtida com auxílio de um GPS, e através de consultas fornecidas pelo INPE, IBGE e Instituto de Terras, Cartografia e Florestas do Estado do Espírito Santo. Foram estabelecidos 11 pontos de amostragem distribuídos ao longo da foz do rio Doce (Figura 1), e monitorados entre 1993 e 1998, durante os períodos de estiagem e chuvas.

As amostras de solos foram coletadas com escavadeira nas profundidades de 0-0,2 m e 0,6-0,8 m, e o sedimento foi coletado com uma draga modelo Ekman. Em laboratório as amostras foram secas em estufa à 55°C, e homogeneizadas com auxílio de um almofariz. Posteriormente, foi determinada a composição granulométrica pelo método clássico de peneiramento fracionado. Para a separação das frações silte e argila, foi utilizado hexametáfosfato de sódio como agente dispersante, e a eliminação da matéria orgânica cimentante das amostras foi efetuada tratando-se a fração areia com peróxido de hidrogênio a 30%, segundo JACKSON (1962).

As concentrações de fósforo total foram determinadas pelo método do ácido ascórbico. Inicialmente, realizou-se uma extração com H_2SO_4 (0,025N) + HCl (0,05N). Após um período de repouso, foram retiradas alíquotas do sobrenadante, e misturadas a uma solução de ácido ascórbico e

molibdato de amônio na proporção 1:1. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 725 nm, de acordo com o método descrito por APRILE & BIANCHINI Jr. (1996). Os teores de matéria orgânica (MO) foram determinados pelo método de extração ácida com H_2O_2 em chapa de aquecimento (JACKSON, 1962).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados granulométricos das amostras coletadas estão apresentados na Tabela 1. Os dados revelaram o predomínio de sedimentos e solos arenosos, sendo que os percentuais de areia grossa e muito grossa, incluindo seixos, foram sensivelmente maiores em direção a desembocadura do rio (ponto 1). Houve uma influência direta da ação das chuvas sobre o tamanho das partículas dos sedimentos. Durante esses períodos, mais de 80% da composição dos sedimentos do canal central, foram formados por areia grossa e muito grossa. Já na região da baía (pontos 5 e 6), houve um predomínio das frações mais finas, com teores de silte e argila variando de 45% na estiagem para 55% durante as chuvas.

A carga detrítica fornecida aos cursos de água, transportada em suspensão ou nas proximidades da superfície do leito, possui características granulométricas variadas e se depositam conforme condições diversas na escala espaço-temporal.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1981), há uma relação direta entre a granulometria e a turbulência. Com a redução do tamanho das partículas, há uma diminuição da rugosidade e turbulência, favorecendo os processos de sedimentação. As partículas de granulometria reduzida (silte e argila), são tão pequenas que se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento, constituindo a carga de sedimentos em suspensão. Quando a turbulência atinge o limite crítico, não tendo mais condições para manter as partículas em suspensão, elas precipitam. A deposição da carga em suspensão pode ocorrer em trechos de águas muito calmas, como é o caso da região onde estão localizados os pontos 5 e 6.

O diâmetro médio das partículas é um indicador da ordem de magnitude do tamanho das amostras. Os resultados da frequência de classes do diâmetro médio dos sedimentos e solos analisados (Tabela 2), revelaram um predomínio de partículas com diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm, com exceção dos pontos 5 e 6.

O diâmetro da maior partícula que um rio pode movimentar, como carga do leito, corresponde à sua competência. Ao comparar o diâmetro das partículas com a velocidade da corrente fluvial na foz do rio Doce, observou-se que ocorreu uma deposição praticamente imediata do material em suspensão, formando uma barra com extremidade voltada para o sul, forçando o rio a deslocar sua foz nesta direção

Tabela 1. Valores percentuais da análise granulométrica dos pontos para os períodos de estiagem e chuvas na foz do rio Doce (ES — Brasil).

Pontos	AT	AMG	AG	AM	AF	AMF	S + A
Período de Estiagem (%)							
1	99,85	8,45	61,48	29,92	-	-	0,09
2	99,84	7,76	60,12	30,82	1,14	-	0,07
3	99,66	7,76	60,42	30,32	1,16	-	0,17
4	98,75	8,32	59,00	28,75	1,46	1,22	0,25
5	49,26	1,32	5,45	10,12	22,61	9,76	46,04
6	40,32	-	0,95	6,15	24,77	8,45	53,79
7	88,51	0,90	40,80	24,36	17,45	5,00	9,07
8	90,48	1,71	44,87	23,01	14,76	6,13	8,34
9	96,09	2,34	53,62	38,56	1,57	-	2,75
10	95,65	2,58	48,55	39,32	3,67	1,53	3,13
11	99,56	4,87	62,34	25,16	7,19	-	0,29
Período de Chuvas (%)							
1	99,98	29,76	65,79	4,40	0,03	-	0,02
2	99,96	24,45	68,12	6,49	0,90	-	0,04
3	99,95	22,45	66,35	11,10	0,05	-	
4	98,90	21,13	62,32	13,15	2,30	-	0,14
5	39,78	-	0,60	2,00	27,21	9,97	55,12
6	34,01	-	0,82	2,14	21,20	9,85	59,75
7	87,79	8,67	47,93	8,70	16,80	5,69	9,94
8	88,41	8,40	52,02	9,77	13,21	5,01	10,37
9	94,92	8,45	65,58	13,56	5,76	1,57	3,88
10	94,91	8,34	65,80	17,32	2,38	1,07	4,02
11	96,82	10,78	62,73	18,97	6,60	0,68	0,17

AT = Areia Total; AMG = Areia Muito Grossa; AG = Areia Grossa; AF = Areia Fina; AMF = Areia Muito Fina; S + A = Silte e Argila.

(Figura 2). A partir daí começou a ação do mar, que removeu o material fino e depositou o material grosseiro ao longo da costa, formando cordões litorâneos. Diante disso, sugere-se que o sedimento superficial que compõe o canal central do rio Doce seja proveniente de duas fontes distintas: (1) as frações de maior diâmetro são oriundas dos mecanismos de dinâmica costeira; (2) as frações de menor diâmetro são provenientes do transporte direto

pela bacia de drenagem e por processos erosivos dos solos marginais.

A carga em suspensão foi bem maior que a carga dissolvida, principalmente nos períodos de chuvas. Areias são mais facilmente erodidas, de modo que houve trechos no canal central, que favoreceram o assoreamento do Rio, possibilitando a formação de inúmeros bancos de areia.

Tabela 2. Frequência relativa (%) do diâmetro médio das partículas do solo e sedimento da foz do rio Doce para todo o intervalo de estudo.

Pontos	Limites de Classes (mm)					
	<0,053	0,053 - 0,105	0,105 - 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0
	Frequência em %					
1	0	0	0	17	64	19
2	0	0	1	19	64	16
3	0	0	1	21	63	15
4	0	1	2	21	61	15
5	53	10	26	7	3	0
6	60	9	25	4	1	0
7	10	5	18	17	45	5
8	9	6	14	17	49	5
9	3	1	3	26	60	6
10	3	1	3	29	58	6
11	0	0	7	23	62	8

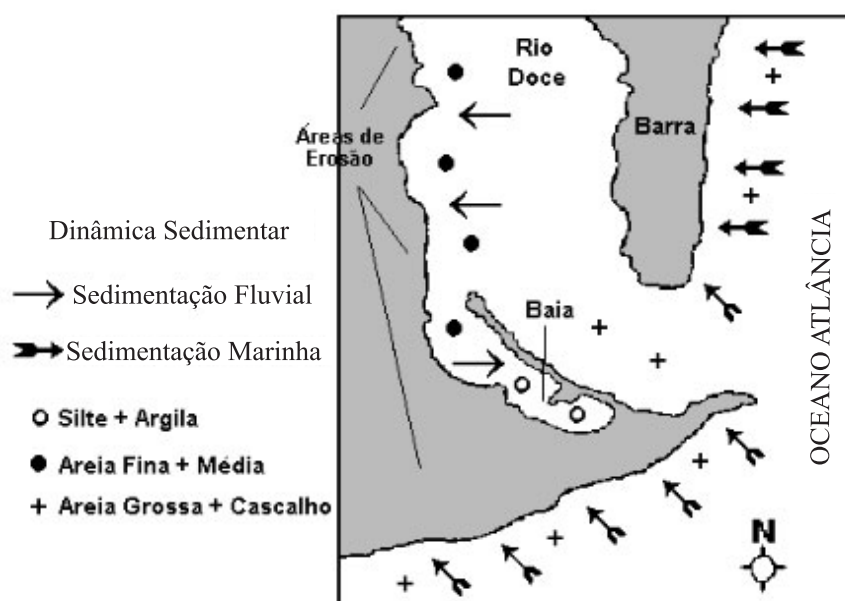


Figura 2. Esquematização da dinâmica sedimentar na foz do rio Doce.

As Figuras 3 e 4 referem-se aos teores de fósforo total e matéria orgânica, respectivamente. Os resultados mostraram que os maiores teores de fósforo e MO foram encontrados na baía, associados as frações mais finas de silte e argila. Nesse trecho foram obtidos valores superiores a 6 ppm de fósforo e 3% de compostos orgânicos. Tais resultados corroboram os dados da análise granulométrica, indicando uma corrente decrescente em direção aos pontos 5 e 6, favorecendo os processos de acumulação neste trecho. No canal central as concentrações de P-total também foram altas, variando de 4 a 6 ppm.

Os teores de MO ficaram entre 0% e 1%. Nos solos marginais as concentrações de fósforo total e matéria orgânica foram relativamente baixas. Isso ocorre porque, como já foi mencionado anteriormente, a composição desses solos é quase na totalidade formada por areia, com uma vegetação de restinga arbustiva que não consegue reter os solos sob a ação dos ventos e chuvas.

A erosão oriunda da substituição da vegetação nativa pela agropecuária, é um agravante na região. Segundo ZUNTI (1982), o rio Doce até meados do século XX era totalmente navegável. A partir da metade do século, com a abertura de canais

de irrigação e crescimento da área de cultivo de mamão, o rio tornou-se impraticável a navegação em vários trechos próximos a foz. Para SUGUIO *et al.* (1982), a ação antrópica recente traduzida no intenso desmatamento da região da planície costeira do rio Doce, favoreceu o aumento do transporte de sedimentos mais grosseiros.

O resultado mais visível do efeito da erosão associada a dinâmica sedimentar na região, foi a formação de bancos de areia, que com o passar do tempo se uniram as margens do rio, originando a pequena baía, e modificando de forma acentuada o posicionamento da foz do rio Doce (Figura 5).

A dinâmica sedimentar presente nos estuários geralmente é caracterizada por ocorrer em áreas de baixas profundidades e alta energia, dominadas por processos físicos, químicos e biológicos. Estas condições favorecem a evolução das margens continentais, principalmente quando associadas aos processos erosivos (DYER, 1997).

De acordo com IBGE (1987), as áreas de ocorrência de solos arenosos da planície do baixo rio Doce, apresentam uma cobertura coluvial espessa que favorece maior penetração da água e um escoamento subsuperficial mais intenso, contribuindo

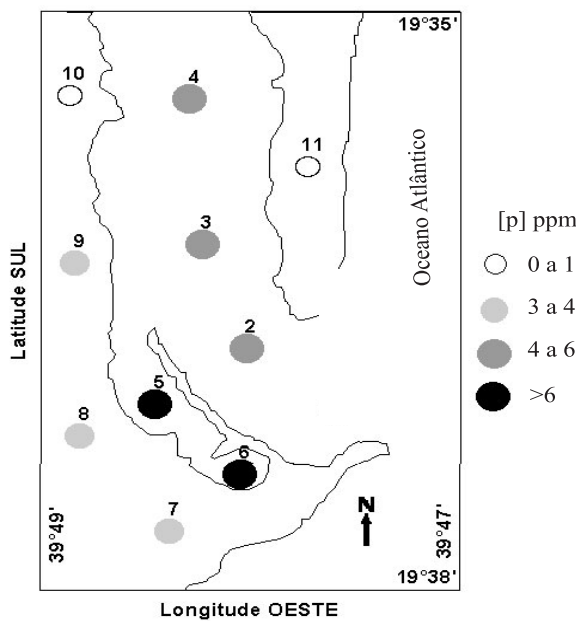


Figura 3. Distribuição de P total nos solos e sedimentos da foz do rio Doce.

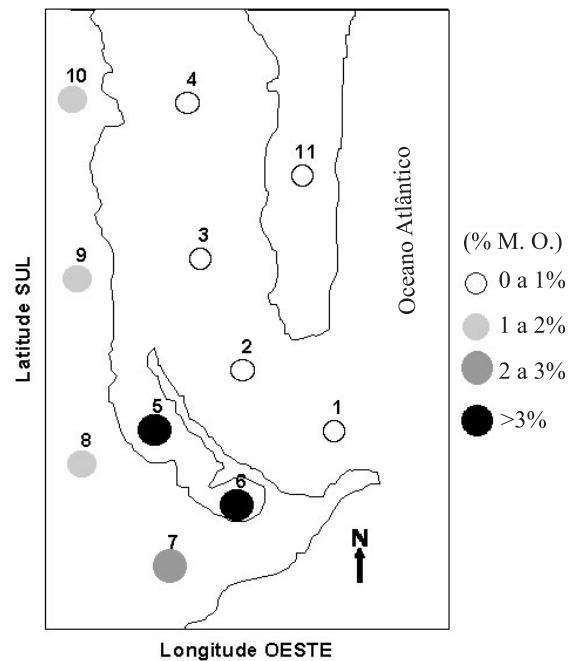


Figura 4. Distribuição de MO nos solos e sedimentos da foz do rio Doce.

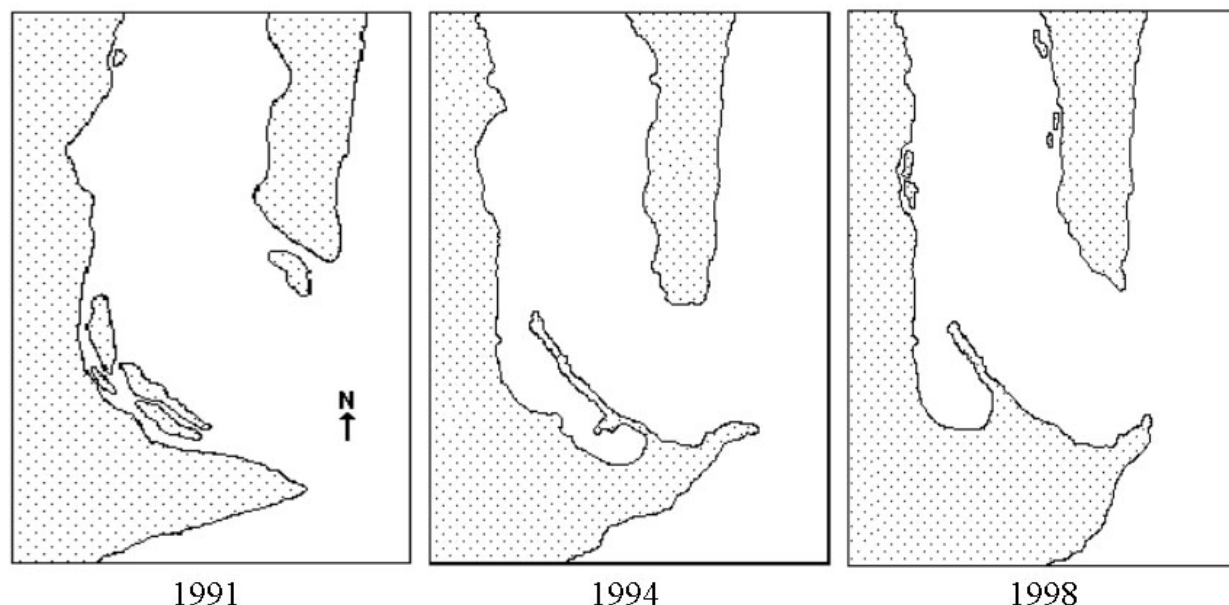


Figura 5. A influência da dinâmica costeira e processos erosivos na geomorfologia da foz do rio Doce entre 1991 e 1998 (elaborado por APRILE *et al.*, 2001).

para a lixiviação dos níveis inferiores ricos em argila e aumentando a espessura dos solos. Tais características associadas ao contínuo desmatamento das reservas nativas próximas ao delta do rio Doce, tem contribuído para a redução da proteção dos solos das ações pluviais, aumentando gradativamente os processos erosivos na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos funcionários e pesquisadores do Projeto TAMAR/IBAMA das bases de Comboios e Povoação, pelo auxílio logístico necessário para a execução desta pesquisa; aos técnicos dos laboratórios de Hidrobiologia, Botânica e Geologia da UFSCar, e ao Professor Dr. José Antônio P. V. de Moraes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APRILE, F. M. & BIANCHINI Jr., I. 1996. Determinação de fósforo total em macrófitas aquáticas e sedimentos - Adequação de procedimentos metodológicos. In: 7 Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, SP, 1992. UFSCar, pp.47-56.

APRILE, F. M., BIANCHINI Jr., I., SILVA, L. A. & Lorandi, R. 1994b. Relatório geral das análises realizadas

na região de Comboios (Lagoas Dourada e Cacimbas), rio Doce — foz e rio Doce - Povoação. 08/93 e 02/94. UFSCar, São Carlos, SP, 142p.

APRILE, F. M., SHIMIZU, G. Y., LORANDI, R. & SILVA, L. A. 1998. Lagoas costeiras do Espírito Santo, Brasil: Caracterização química do sedimento e água destes ecossistemas. In: 8 Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, SP, 1996. UFSCar, São Carlos, 3:1361-1371.

APRILE, F. M., SILVA, L. A., LORANDI, R. & BIANCHINI Jr., I. 1994a. Características físicas e químicas da foz do rio Doce, ES, Brasil. In: I Simpósio Latino Americano de Saúde de Ecossistemas Aquáticos e Significado Ecológico de Bioensaios, São Carlos, SP, 1994. EESC (USP), São Carlos, SP. pp.71.

APRILE, F. M., SIQUEIRA, G. W. & LORANDI, R. 2001. A Influência dos Processos Erosivos na Foz do rio Doce (Espírito Santo — Brasil). In: VIII Congresso da ABEQUA, Assoc. Bras. de Estudos do Quaternário, Mariluz/Imbé, RS, 14 a 20/10/2001. pp.203-205.

BALLS, P. W. 1994. Nutrient inputs to estuaries from nine Scottish east coast rivers; influence of estuarine processes on inputs to the North Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 39:329-352.

CHRISTOFOLETTI, A. 1981. *Geomorfologia Fluvial*. Volume 1 — O Canal Fluvial. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 313p.

- DYER, K. R. 1997. Estuaries a physical introduction. John Wiley, 2ed., New York, 195p.
- HUGHES, M. C., HARRIS, P. T. & HUBBLE, T. C. T. 1998. Dynamics of the turbidity maximum zone in a micro tidal estuary. Hawkesbury River. Australia. *Sedimentology*, 45:397-410.
- IBGE 1987. Levantamento de recursos naturais. SEPLAN/IBGE, Rio de Janeiro, v.34, Folha SE 24, Rio Doce, 547p.
- JACKSON, M. L. 1962. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc., USA, 498p.
- LINDSAY, P., BALLS, P. W. & WEST, J. R. 1996. Influence of tidal range and river discharge on suspended particulate matter fluxes in the Forth estuary (Scotland). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42:63-82.
- MAHIQUES, M. M. 1995. Dinâmica sedimentar atual nas enseadas da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. *Boletim Instituto Oceanográfico, São Paulo, SP*, 43(2):111-122.
- MAHIQUES, M. M., TESSLER, M. G. & FURTADO, V. V. 1998. Characterization of energy gradient in enclosed bays of Ubatuba region, South-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47:431-446.
- SHUM, K. T. & SUNDBY, B. 1996. Organic matter processing in continental shelf sediments. The subtidal pump revisited. *Marine Chemistry*, 53:81-87.
- SUGUIO, K., MARTIN, L. & DOMINGUEZ, J. M. L. 1982. Evolução da planície costeira do rio Doce (ES) durante o quaternário: Influência das flutuações do nível do mar. In: 4 Simpósio do Quaternário no Brasil, Rio de Janeiro, 1982. SBG, RJ, pp.93-116.
- ZUNTI, M. L. G. 1982. Panorama Histórico de Linhares. Linhares. Prefeitura Municipal de Linhares, E. S. 203p.

