

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS CURSO DE OCEANOGRAFIA

FELIPE MORAES SANTOS

ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DE SEIS GRANDES ESTUÁRIOS BRASILEIROS

> Salvador 2009

FELIPE MORAES SANTOS

ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DE SEIS GRANDES ESTUÁRIOS BRASILEIROS

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Carlos Alessandre Domingos Lentini Co-orientador: Prof. Guilherme Lessa TERMO DE APROVAÇÃO

FELIPE MORAES SANTOS

ESTUDO COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS E PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DE SEIS GRANDES ESTUÁRIOS BRASILEIROS

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Carlos Alessandre Domingos Lentini - Orientador Livre Docente e Doutor em Oceanografia Física e Meteorologia pela University of Miami - RSMAS, Estados Unidos Universidade Federal da Bahia

Fernando Genz Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia Universidade Federal da Bahia

Ruy Kenji Papa de Kikuchi Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia Universidade Federal da Bahia

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo incentivo que me deram desde que escolhi a Oceanografia como profissão;

A minha namorada, Ingrid, pelo apoio e incentivo durante o período da monografia;

Ao meu orientador Carlos Lentini, pela ajuda e paciência;

Ao meu Co-Orientador Guilherme Lessa, pelo conhecimento compartilhado durante os anos de estágio e pela grande ajuda durante a monografia, mesmo estando ausente do país;

A todos os professores de Oceanografia;

Aos amigos Rafael Carvalho e Taoan Franklin pela ajuda com os softwares de geoprocessamento;

Aos amigos Carlos Valério e Ricardo Domingues;

RESUMO

A costa brasileira foi exposta a uma regressão da ordem de 3,5 m nos últimos 6.000 anos e apresenta assim ampla evidência de progradação costeira e estuários extintos junto a desembocaduras fluviais. No entanto, na costa leste brasileira existem ainda 18 grandes estuários, com área superior a 50 km² e a persistência destas feições em regime de nível de mar regressivo é fato, no mínimo, curioso. Poucos destes estuários têm alguma informação estratigráfica, batimétricas e taxas de sedimentação e/ou vazões sólidas disponíveis, de modo que a avaliação do estágio de preenchimento sedimentar da maior parte deles ainda não pode ser feita adequadamente. Este trabalho tem como objetivo avaliar o grau de preenchimento sedimentar de 6 estuários da costa leste brasileira (baías de Todos os Santos (BTS), Paranaguá, Sepetiba, Guanabara, Camamu e Vitória) com mapeamento batimétrico disponível e para os quais o cálculo do seus volumes e das taxas de sedimentação no Holoceno Superior são possíveis de serem feitas. O mapeamento geomorfológico dos estuários foi feito a partir de sensores orbitais e imagens de radar, enquanto o cálculo dos volumes e descargas fluviais foram feitos a partir de dados disponíveis na literatura. As descargas sólidas foram calculadas a partir de uma equação empírica de produção de sedimentos e as taxas de sedimentação estimadas com base em valores aproximados da densidade dos sedimentos. As taxas de sedimentação tenderam a apresentar relação direta e inversamente proporcional com as profundidades médias dos estuários, com as maiores taxas de sedimentação correspondendo a menores profundidades. Exceção ocorreu nas baías de Camamu e de Todos os Santos, onde as profundidades médias são respectivamente muito maiores e menores que o esperado. Estas discrepâncias podem estar associadas a questões estruturais como geometria do paleovale e movimentos tectônicos, e/ou à produção de sedimentos autóctones.

Palavras-chave: Estuário; Geomorfologia; Descarga Sedimentar.

ABSTRACT

The Brazilian coast underwent a 3.5 m fall of sea level in the last 6000 years, and as a result prograded coastal plains and extinct estuaries are common features along the coast. There are, however, 18 large estuaries (>50 km²) along the east coast, and their persistence under a long falling sea level condition is curious at the least. Stratigraphic and bathymetric information, as well as sedimentation rates and/or sediment discharge are still insufficient to allow for the assessment of the infilling stages of most of these estuaries. This work aims to evaluate the relative infilling stages of 6 esturies of the Brazilian east coast (the coastal bays of Todos os Santos (BTS), Paranaguá, Sepetiba, Guanabara, Camamu e Vitória) where volume calculations and sedimentation rates are possible to be made. The estuaries contour and geomorphology were mapped with the aid of remote sense imagery, whereas the sediment discharge and sedimentation rates were assessed based on available literature information. The sediment discharges were calculated through an empirical equation and sediment deposition rates estimated on the basis of common suspended sediment densities. Sedimentation rates tend to be inversely proportional to estuary mean depth, with larger sedimentation rates generally associated with shallower estuaries. Exceptions were Todos os Santos and Camamu bays, with the former (latter) much deeper (shallower) than the expected. These discrepancies may be ascribed to some factors such as geometry of the paleovalley, vertical tectonic movements and even autoctonous sedimentation.

keywords: Estuary; Geomorphology; Sediment Load.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Taxas de precipitação e altura da preamar média de sizígia para a costa	
leste brasileira	.14
Figura 2 - Modelo digital do terreno com hidrografia da costa leste e destaque para	ł
as bacias de drenagem dos estuários	.16
Figura 3 - Composição das bandas 4 (R), 5 (G) e 3 (B) do satélite Landsat 7 ETM+	-
utilizada para o mapeamento	.18
Figura 4 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da BTS	.24
Figura 5 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Paranaguá	.25
Figura 6 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Sepetiba	.26
Figura 7 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Guanabara	.27
Figura 8 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Camamu	.28
Figura 9 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Vitória	.29
Figura 10 - Variação da altura média de sizígia ao longo dos estuários	.31
Figura 11 - Curvas hipsométricas para os diferentes estuários	.32
Figura 12 - Gráfico das porcentagens dos tipos de litologia para os estuários	
estudados	.34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes harmônicas (m) e comprimento total (km) para as Baía de	
Todos os Santos, Camamu e Vitória20)
Tabela 2 - Componentes harmônicas (m) e comprimento total (km) para as baías de	
Guanabara, Sepetiba e Paranaguá20)
Tabela 3 - Relação das áreas das unidades geomorfológicas básicas dos seis	
estuários estudados	3
Tabela 4 - Alturas das preamares médias de sizígia, distância relativa das estações	
maregráficas e números de forma para os estuários relacionados)
Tabela 5 - Alturas médias de maré de sizígia, volume total, prisma de maré e razão	
de fluxo dos estuários relacionados	2
Tabela 6 - Variáveis utilizadas para o cálculo da descarga sedimentar para ao seis	
estuários estudados	3
Tabela 7 - Taxas de sedimentação para os seis estuários estudados	7

APÊNDICE

Figura 1 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da BTS50
Figura 2 - Mapa de classes litologicas para as bacias de drenagem da Bala de Paranaguá
Figura 3 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Sepetiba5
Figura 4 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Guanabara5
Figura 5 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Camamu5
Figura 6 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Vitória5
Figura 7 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da BTS55 Figura 8 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Paranaguá55 Figura 9 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Sepetiba55 Figura 10 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Guanabara. 55
Figura 11 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Camamu5 Figura 12 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Vitória5

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	12
1.2	CARACTERIZAÇÃO	DA COSTA LESTE DA AMÉRICA DO SUL12
2	METODOLOGIA	17
2.1	OBTENÇÃO DE DAD	OOS MORFOLÓGICOS17
2.2	OBTENÇÃO DE DAD	DOS DE MARÉ19
2.3	CÁLCULO DA DESC	ARGA LÍQUIDA E SÓLIDA21
2.4	CÁLCULO DA TAXA	DE SEDIMENTAÇÃO22
3	RESULTADOS	23
3.1	GEOMORFOLOGIA.	23
3.2	MARÉS	
3.3	VOLUMES	
3.4	DESCARGA FLUVIA	L33
3.5	DESCARGA SÓLIDA	
3.6	TAXA DE SEDIMENT	ΓΑÇÃO37
4	DISCUSSÃO	38
5	CONCLUSÕES	45
6	REFERÊNCIAS BI	BLIOGRÁFICAS 46
7	APÊNDICE 50	

1 INTRODUÇÃO

Várias definições são propostas para estuários na literatura, o que reflete a diversidade do perfil dos pesquisadores dedicados à investigação de ambientes de transição. No que diz respeito às ciências geológicas, o conceito mais frequente é o proposto por Dalrymple *et al.* (1992) que considera estuário a porção distal do vale afogado por uma transgressão onde fácies marinhas e fluviais são espacialmente distribuídas por processos associados à vazão dos rios, às correntes de maré e às ondas. Neste sentido, pode-se dizer que o estuário está associado à presença de um espaço de acomodação à retaguarda da linha de costa.

A costa brasileira, por ter sido exposta a uma regressão da ordem de 3,5 m nos últimos 6.000 anos (Angulo *et al.*, 2006), apresenta ampla evidência de estuários extintos (Dominguez *et al.*, 1992; Martin *et al.*, 1993; Caruso Junior, 1993). Estuários clássicos de planície costeira, associados a desembocaduras fluviais, praticamente não mais existem, sendo sua existência confinada, na sua maior parte, a baías com aparente controle estrutural (Lessa, 2005). Exceção apenas na costa paraense, onde um processo de subsidência de escala regional controla o desenvolvimento de amplos estuários (Souza Filho *et al.*, 2009).

A colmatação, ou extinção, de um estuário está relacionada ao aporte de sedimentos continentais e marinhos, que influenciam a taxa de sedimentação, e ao nível relativo do mar, que pode maximizar, minimizar ou reverter a tendência de assoreamento imposta pela sedimentação. Dado o comportamento do nível marinho na costa brasileira durante o Holoceno Médio e Superior (Angulo *et al.*, 2006), era de se esperar que grandes estuários como a Lagoa dos Patos, Baía de Paranaguá, Baía de Guanabara e Baía de Todos os Santos (BTS), fossem feições raras na zona costeira. No entanto, existem 18 estuários na costa leste brasileira com área superior a 50 km² e nos quais se situam a maioria dos importantes portos marítimos nacionais e algumas das maiores aglomerações urbanas do país.

A manutenção destes estuários ao longo do Holoceno pode estar associada a processos de subsidência localizada, relacionada a basculamentos de blocos tectônicos costeiros, conforme sugerido por Lessa e Gomes (2009, submetido). Desta forma, em escalas locais ou até mesmo regionais, como no caso da costa paraense, o nível relativo do mar nos últimos 6.000 anos pode ter se mantido estável ou até mesmo se elevado, auxiliando na preservação do espaço de acomodação estuarino.

Investigações sobre neotectonismo e ocorrência de subsidência nos estuários brasileiros são escassas, e de acordo com Lessa e Gomes (2009, submetido) restringem-se à costa paraense, Baía de Todos os Santos e Baía de Guanabara. Poucas são também as

informações sobre o volume dos estuários (espaço de acomodação), taxas de sedimentação e/ou vazões sólidas, de modo que a avaliação do potencial de assoreamento, do impacto da variação relativa do paleonível marinho e por conseguinte da correlação da presença dos estuários com o proposto processo de subsidência, ainda não pode ser feita adequadamente.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal contribuir com a avaliação do grau de assoreamento, ou preechimento sedimentar, dos estuários a partir da caracterização geomorfológica e aporte de sedimentos em 6 estuários da costa leste brasileira, as baías de Todos os Santos, Camamu, Vitória, Guanabara, Sepetiba e Paranaguá. A caracterização comparativa destes 6 estuários permitiu verificar se existe alguma relação entre a magnitude das vazões sólidas e o volume dos estuários.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DA COSTA LESTE DA AMÉRICA DO SUL

A porção brasileira da costa leste da América do Sul está compreendida entre o Cabo Calcanhar e a Barra do Chuí. Este trecho possui orientação nordeste-sudoeste (Muehe, 1998), e engloba a região sudeste, sul e parte da região nordeste brasileira. (Figura 1). Devido à grande extensão do litoral encontra-se grande diversidade de características geológicas/geomorfológicas (feições morfológicas, aporte de sedimentos), oceanográficas (amplitude da maré) e climatológicas (temperatura e pluviosidade).

Ao longo da costa nordeste, na região compreendida entre Cabo Calcanhar e a foz do rio São Francisco (trecho A, Figura 1), ocorre um relevo de tabuleiros costeiros que ao atingirem a costa terminam em forma de falésias (Muehe, 1998). Nessa região, o aporte sedimentar é pequeno, reflexo das pequenas bacias de drenagem (Figura 2) associadas ao baixo relevo e precipitação (Dominguez, 2009), esta última com média anual de entre 1.400 e 1.600 mm. O regime de maré dominante nessa região é o de mesomaré, ou seja, regiões com altura de maré de sizígia entre 2 e 4 m (Davies, 1964 *apud* Miranda *et al.*, 2002), com exceção de um pequeno trecho entre o litoral sul de Pernambuco e o rio São Francisco (Figura 1).

A região entre a foz do rio São Francisco e Salvador (trecho B, Figura 1) é caracterizada pela presença de diversos estuários e amplas planícies costeiras com barreiras arenosas arqueadas em direção ao mar (Muehe, 1998). Observa-se ainda a presença de dunas fixadas por vegetação no litoral norte da Bahia. Dentre os estuários encontrados nessa região, os mais importantes são o Sergipe, Vaza Barris, Real-Piauí e Itapicuru. Os índices de pluviosidade nesta região estão entre 1.000 e 1.500 mm/ano entre o rio São Francisco e

Sergipe, aumentando para 1.500 a 2.000 mm/ano entre o litoral sul de Sergipe e Salvador. O regime de marés predominante é o de micromarés, com altura de maré de sizígia menor que 2 m (Davies, 1964 *apud* Miranda *et al.*, 2002).

O trecho C (Figura 1), denominado por litoral oriental, tem início em Salvador e se estende até Ilhéus. Essa região é marcada pela presença do gráben de Salvador, cuja expressão topográfica e geológica se traduz em uma escarpa dissecada de bloco de falha (Falha de Maragogipe), à frente da qual afloram rochas cretácicas e depósitos sedimentares quaternários, formando a faixa costeira que não ultrapassa 30 km de extensão (Muehe, 1998).

Dois dos estuários enfocados neste trabalho estão localizados neste trecho, sendo eles representados pelas baías de Camamu e Todos os Santos, ambos delimitados a oeste pela falha geológica de Maragojipe. A Baía de Todos os Santos é a segunda maior baía costeira do Brasil, com área máxima de 1.223 km², profundidade média de 9,8 m e médias anuais de temperatura e precipitação de 25,3 °C e 2086 mm, respectivamente (Cirano e Lessa, 2007).

Os rios Paraguaçu, Jaguaripe e Subaé são os principais contribuintes de água doce para a BTS, que recebe em média 116 m³/s, sendo o rio Paraguaçu responsável por aproximadamente 93 m³/s (Lessa *et al.*, 2009). Segundo Cirano e Lessa (2007), a circulação da Baía de Todos os Santos é forçada por marés semidiurnas e chegam a atingir altura máxima de 2,94 m no interior da baía.

A Baía de Camamu é a segunda maior baía costeira do estado da Bahia. Segundo Amorim (2005), possui área de aproximadamente 384 km², dos quais 169 km² são manguezais. Constitui-se por um sistema bastante raso (profundidade média de 5 m), com precipitação média anual de 2.570 mm e descarga fluvial média de aproximadamente 53 m³/s e os rios Serinhaém, Sorojó, Igrapiúna, Pinaré e Maraú são seus principais contribuintes. A maré na Baía de Camamu é semidiurna e atinge altura máxima durante as marés de sizígia (2,14 m).

O trecho D da Figura 1 estende-se de Ilhéus a Cabo Frio e é caracterizado por um relevo de tabuleiros que em certos pontos da costa se estende até 110 km em direção ao interior do continente (Muehe, 1998). Neste trecho, o relevo continental é escarpado e com maiores altitudes e encontra-se mais recuado em relação à linha de costa. A combinação de grandes bacias de drenagem e altas declividades resulta em maior aporte de sedimentos por parte desses rios, o que explica a presença de deltas dominados por onda em suas desembocacaduras, a exemplo dos rios Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul (Dominguez, 2009).



Figura 1 - Taxas de precipitação e altura da preamar média de sizígia para a costa leste brasileira.

O clima deste trecho litorâneo é quente e úmido e as alturas de maré são inferiores a dois metros. Exceção é feita ao litoral sul da Bahia, próximo a Caravelas, onde as alturas de marés ultrapassam os dois metros (regime de mesomaré).

Neste trecho (D) encontra-se o terceiro estuário discutido neste trabalho, a Baía de Vitória, localizada nas proximidades da cidade de Vitória. Este sistema estuarino possui cerca de 20 km² de manguezais, recebe um aporte fluvial de aproximadamente 19 m³/s, e os rios Santa Maria da Vitória, Bubu, Aribibi e Marinhos são seus principais afluentes (Rigo, 2004). O regime de maré na Baía de Vitória é considerado como de micromarés e apresenta amplitudes entre 1,7 m (sizígia) e 0,9 m (quadratura), e as correntes de marés são as principais forçantes da circulação hidrodinâmica dessa baía (Rigo, 2004).

A morfologia do litoral sudeste, englobando os trechos E, F e G da Figura 1, é caracterizada pela proximidade da Serra do Mar e pequenas bacias de drenagem (Figura 2). O trecho E, compreendido entre Cabo Frio e a Ilha de Marambaia, é caracterizado pela presença de barreiras arenosas, lagunas costeiras e clima super-úmido. Nessa região encontram-se dois outros estuários discutidos neste trabalho: as baías de Guanabara e de Sepetiba.

A Baía de Guanabara está situada nas proximidades da cidade do Rio de Janeiro e serve de estuário para mais de 100 rios e canais (Godoy *et al.*, 1998). Segundo Kjerfve *et al.* (1997) a baía tem sua origem associada a processos tectônicos e sua área total é de 384 km². A bacia de drenagem da Baía de Guanabara tem aproximadamente 4.080 km² (Kjerfve *et al.*, 1997) e recebe descarga fluvial média de 100 m³/s, dos quais 80% são provenientes de 6 rios, de acordo com JICA (1994 *apud* Kjerfve *et al.*, 1997). A temperatura média do ar para a Baía de Guanabara é de 23,7 °C e a precipitação anual média é de 1.173 mm. A maré é mista com predominância semidiurna e atinge altura máxima de 1,1 m durante a sizígia (Kjerfve *et al.*, 1997).

A Baía de Sepetiba é normalmente referida como um laguna semifechada (Barcellos *et al.*, 1997), com área de 447 km² e está localizada 60 km a oeste da cidade do Rio de Janeiro. A área da bacia de drenagem da baía é de 2.065 km² (Barcellos *et al.*, 1997) e recebe o aporte fluvial médio de 108 m³/s (Molisani *et al.*, 2006), e esta grande descarga fluvial é reflexo do bombeamento de mais de 100 m³/s do Rio Paraíba do Sul para a bacia do Rio Guandu.

Na parte sul da região sudeste, entre Santos e o Cabo Santa Marta (trecho G, Figura 1) predominam longos arcos de praias e planícies costeiras, além de diversos estuários como os de Cananéia, Santos, Babitonga, Guaratuba e Paranaguá, este último o quinto estuário a ser discutido neste trabalho.





S..0.0.01

20°0'0"S

30°0'0"S

40°0'0"W

500 Km

Figura 2 - Modelo digital do terreno com hidrografia da costa leste e destaque para as bacias de drenagem dos estuários.

Segundo Mantovanelli (1999), o complexo estuarino de Paranaguá (601 km²) possui geometria complexa, compreendendo 2 eixos principais: um ocupado pelas baías de Paranaguá e Antonina (eixo W-E) e outro pelas baías de Laranjeiras e Guaraqueçaba (eixo NNE-SSW). É uma baía parcialmente misturada e dominada por marés, possui descarga fluvial média de aproximadamente 200 m³/s e área de drenagem de 3.600 km² (Noernberg *et al.*, 2004).

Em geral o clima da região sudeste é superúmido, devido à proximidade do relevo elevado à linha de costa, a qual favorece a precipitação orográfica, que por sua vez provoca intenso escoamento superficial e repentino aumento das descargas fluviais (Muehe, 1998). As micromarés predominam na região sudeste, com alturas entre 1 e 2 metros.

O litoral sul, compreendido entre o Cabo de Santa Marta e Barra do Chuí (trecho H, Figura 1), possui litoral retilinizado, caracterizado pela presença de extensos cordões litorâneos, muitas vezes recobertos por dunas e com lagunas costeiras à sua retaguarda, caso das lagoas dos Patos, de Tramandaí e Mirim. Essa característica da linha de costa é reflexo do retrabalhamento pelas ondas e da grande quantidade de sedimentos que essa região recebe pelos rios da Prata (segundo maior da América do Sul), Camaquã e Jacuí. As micromarés dominam a região, a hidrodinâmica costeira é dominada pela ação das ondas, que se alternam entre vagas de nordeste e leste com ondulações de sudeste e ondas de tempestade de leste e sudeste (Muehe, 1998).

2 METODOLOGIA

2.1 OBTENÇÃO DE DADOS MORFOLÓGICOS

Cenas completas de imagens Landsat 7, ortorretificadas e com resolução espacial de 15 m, foram obtidas gratuitamente da NASA (http://landsat.gsfc.nasa.gov/) e utilizadas como base para o mapeamento dos estuários. As bandas 4 (infravermelho próximo), 5 (infravermelho médio), 3 (vermelho) e 8 (pancromática) foram utilizadas para identificação dos limites emersos das unidades geomorfológicas de apicum e área intermareal vegetada. Já as bandas 3 (vermelho), 2 (verde), 1 (azul) e 8 (pancromática) foram utilizadas como auxílio ao mapeamento das áreas intermareais não vegetadas, as quais foram delimitadas inicialmente pelas cartas náuticas (quando disponível). As imagens Landsat7 ETM+ foram tratadas com o programa ENVI 4.2.

O critério utilizado para o mapeamento das áreas intermareais vegetadas e supramareais (apicum) está evidenciado na Figura 3. A área intermareal vegetada corresponde a cor vermelha, enquanto as áreas supramareais correspondem a coloração violeta e verde escuro adjacente as áreas intermareais vegetadas.

Imagens de radar obtidas pelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) em 2000, com resolução espacial de 90 metros, também obtidas gratuitamente no site da NASA

(http://www.jpl.nasa.gov/srtm/southamerica_radar_imagens.html), foram utilizadas no mapeamento da bacia de drenagem de cada estuário. As imagens SRTM, Versão 2, foram tratadas com o programa Global Mapper 8.0 e exportadas como .tiff para a extração da drenagem das bacias com o programa ArcGis 9.2. Com a malha hidrográfica extraída, os erros gerados pelo programa foram corrigidos e então calculadas as áreas das bacias através da extensão XTools Pro.





Figura 3 - Composição das bandas 4 (R), 5 (G) e 3 (B) do satélite Landsat 7 ETM+ utilizada para o mapeamento das áreas intermareais vegetadas (A) e áreas supramareais (B) para a Baía de Vitória.

Todas as imagens utilizadas foram georreferenciadas no sistema de projeção UTM com *datum* WGS 84. A digitalização dos contornos das unidades geomorfológicas (espelho d'água, mangues e apicuns) foi executada em escala de 1:25.000. Após a digitalização dos polígonos, suas áreas foram medidas pela extensão XTools Pro do programa ArcGis 9.2.

O volume e a geometria dos estuários foram determinados com a digitalização das cartas náuticas produzidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Os dados foram

interpolados em ArcGis para produção do modelo digital de terreno, a partir do qual se fizeram as medições de volume e de áreas por intervalos de profundidade.

2.2 OBTENÇÃO DE DADOS DE MARÉ

Os dados de altura de maré foram obtidos a partir da análise dos principais componentes harmônicos de estações maregráficas em diferentes regiões dos estuários, publicadas no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras (FEMAR, 2000 – Tabelas 1 e 2). O cálculo das alturas médias de sizígia e médias gerais baseou-se em $2(M_2+S_2)$ e $2(M_2)$, de acordo com Palmer *et al.* (1980).

Outros dados relativos à maré, como prisma de maré, número de forma e razão de fluxo também foram calculados. O número de forma define a importância relativa das componentes diurnas e semidiurnas da maré, é calculado pela equação $N_F = K_1 + O_1 / M_2 + S_2$ e classificado de acordo com Defant (1960), *apud* Miranda *et al.* (2002), da seguinte forma:

- maré semidiurna ($0 < N_F < 0,25$)

- maré mista com predominância semidiurna (0,25 < N_F < 1,5)
- maré mista com predominância diurna (1,5 < N_F < 3,0)
- maré diurna ($N_F > 3,0$)

O prisma de maré (P) é o volume de água trocado entre o estuário e o oceano em meio período de maré, calculado pela fórmula P = H_0A_T , onde H_0 é a altura média da maré e A_T é a área total do estuário (Miranda *et al.*, 2002).

A razão de fluxo (R/P) é um número adimensional definido pela razão entre a descarga fluvial acumulada em um ciclo de maré (R) e o prisma de maré (P) (Miranda *et al.*, 2002). Esse número foi utilizado para determinar a influência da maré ou da descarga fluvial nos estuários, sendo que razões maiores (menores) indicam gradientes de densidade mais (menos) elevados.

ESTUÁRIO			Todos o	os Santos		Can	namu	Vitória			
Comprimento tota		82	km		50 km		23 km				
Distância relativa		0	0,1	0,4	0,9	0	0,2	0	0,2	0,5	0,7
Semidiurnas	M ₂	0,69	0,79	0,89	1,06	0,67	0,75	0,46	0,46	0,50	0,51
	S ₂	0,24	0,35	0,31	0,38	0,25	0,27	0,19	0,21	0,23	0,24
Diurnas	O ₁	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,09	0,08	0,09	0,09
	K ₁	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,05	0,07	0,06
Subharmônica	M ₄	0,01	0,01	0,02	0,10	0,01		0,01	0,01	0,02	0,02

Tabela 1 - Componentes harmônicas (m) e comprimento total (km) para as Baía de Todos os Santos, Camamu e Vitória. As distâncias das estações de maregrafia foram admensionalizadas em relação ao comprimento total do estuário (Distância relativa).

Tabela 2 - Componentes harmônicas (m) e comprimento total (km) para as baías de Guanabara, Sepetiba e Paranaguá. As distâncias das estações de maregrafia foram admensionalizadas em relação ao comprimento total do estuário (Distância relativa).

ESTUÁRIO			Guan	abara			Sepe	etiba		Paranaguá			
Comprimento total			48	km		54 km				55 km			
Distância relativa		0	0,3	0,6	0,8	0	0,2	0,5	0,9	0	0,3	0,5	0,8
Semidiurnas	M ₂	0,30	0,32	0,34	0,37	0,25	0,33	0,40	0,43	0,39	0,46	0,46	0,53
	S ₂	0,17	0,18	0,20	0,20	0,20	0,19	0,22	0,22	0,27	0,28	0,32	0,36
Diurnas	O ₁	0,11	0,06	0,10	0,12	0,09	0,11	0,11	0,11	0,10	0,03	0,11	0,13
	K ₁	0,06	0,06	0,06	0,07		0,06	0,06	0,06	0,05	0,09	0,07	0,07
Subharmônica	M ₄	0,03	0,05	0,06	0,08	0,03	0,08	0,17	0,23	0,08	0,12	0,15	0,26

2.3 CÁLCULO DA DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA

Para os estuários com descarga fluvial desconhecida, ou apenas parcialmente calculada, a vazão fluvial afluente ao estuário foi calculada a partir de dados de vazão de estações fluviométricas obtidos do *site* da Agência Nacional de Águas e/ou de dados de vazão estimada, com base na transposição de áreas (Miranda *et al.*, 2002).

O método de transposição de áreas é expresso da seguinte forma:

Eq. (1):
$$Q_F = cQ^*$$
,

onde Q_F é a descarga fluvial, c = (A₁ + A₂) / A₁ é fator adimensional de correção (A₁ e A₂ são as áreas das bacias de drenagem com vazões conhecidas e desconhecidas, respectivamente) e Q* é a descarga conhecida. Essa fórmula foi utilizada para as pequenas bacias de drenagem, com descarga fluvial desconhecida, a partir da hipótese de que a precipitação e evapotranspiração nas bacias com vazões conhecidas e desconhecidas sejam iguais. Estas informações encontram-se disponíveis nos *sites* da Agência Nacional de Águas, do Instituto Nacional de Meteorologia e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

O cálculo da carga sedimentar para os estuários foi feito pelo modelo BQART (Syvitski e Milliman, 2007), que leva em consideração a altitude máxima, temperatura, geologia, vazão fluvial e área da bacia de drenagem. O modelo é baseado na seguinte equação:

Eq. (2):
$$Q_s = w B Q^{0,31} A^{0,5} R T$$
,

onde Q_s é a carga sedimentar (kg/ano) e (w) uma constante de proporcionalidade igual a 0,02 para kg/s e 0,0006 MT/ano (milhões de toneladas por ano), A é a área da bacia de drenagem [km²], Q é a vazão fluvial [km³/ ano], R é a altitude máxima da bacia [km] obtida pelas imagens SRTM e T é a temperatura [°C] obtida pelos mapas de temperatura no *site* do Ministério do Meio Ambiente.

O parâmetro B é descrito por

Eq. (3):
$$B = IL(1-T_E)E_H$$
,

onde I é o fator de erosão glacial, L corresponde à litologia, T_E se relaciona à eficiência de retenção de sedimentos por barragens ou lagos e E_H é a influência antrópica na erosão de solo.

Os valores para a litologia (L) variam de 0,5 a 3 a depender do tipo de litologia, sendo:

 a) Bacias compostas principalmente de litologia dura, ou seja, rochas plutônicas ácidas e/ou com alto grau de metamorfismo, terão valor 0,5.

- b) Bacias compostas por uma mistura de litologias duras e friáveis, com maioria de litologia dura, às vezes incluindo o embasamento cristalino, terão valor 0,75.
- c) Bacias compostas de rochas vulcânicas (basálticas em sua maioria) ou por alforamentos carbonáticos, ou mistura de litologias duras e friáveis (rochas sedimentares ou sedimentos), terão valor 1,0.
- d) Bacias com predominância de litologias friáveis, porém com área significativa de litologia dura, terão valor 1,5.
- e) Bacias compostas por rochas sedimentares, depósitos aluviais e sedimentos inconsolidados terão valor 2,0.
- f) Bacias compostas por uma abundância de material frágil, como rochas trituradas e depósitos de *loess*, terão valor 3,0.

A litologia da bacia de drenagem foi obtida pela Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo produzido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em formato digital. Para cada bacia de drenagem, as litologias foram divididas em dois grandes grupos: rochas ígneas e metamórficas (litologias duras) e rochas sedimentares e sedimentos (litologias friáveis). O valor final da litologia para cada bacia foi definido pela média ponderada das áreas de cada grupo.

Como este estudo refere-se à investigação de processos sedimentares no Holoceno, o valor para eficiência de retenção de sedimentos por barragens ou lagos $(1-T_E)$ assim como a influência antrópica na erosão de solo (E_H) será 1, ou seja, nenhum sedimento retido por barragens e nenhuma influência antrópica na erosão do solo. Da mesma forma, o fator de erosão glacial terá o valor 1, ou seja, erosão inexistente.

2.4 CÁLCULO DA TAXA DE SEDIMENTAÇÃO

As taxas de sedimentação foram estimadas dividindo-se a descarga sólida pela área total da baía e pela densidade do sedimento, assumindo que o sedimento não saia do estuário. Valores de densidade publicados no Brasil foram encontrados em 2 dos 6 estuários; na Baía de Guanabara, com densidade entre 1.256 e 1.744 kg/m³ (Amador, 1980) e na Baía de Paranaguá, com densidade de 1.800 kg/m³ (Mantovanelli, 1999). Sendo assim, foram calculadas taxas de sedimentação considerando-se 3 valores: 1.200, 1500 e 1.800 kg/m³.

3 RESULTADOS

3.1 GEOMORFOLOGIA

O mapeamento geomorfológico dos estuários é apresentado nas figuras de número 3 a 8, sendo que os valores de área estão listados na Tabela 3. Verifica-se que a área total dos estuários varia entre 1.233 km² (Todos os Santos) a 45 km² (Vitória). Os estuários de Camamu e Vitória possuem área intermareais de 271 e 28 km², apresentando os maiores porcentuais de área intermareal, 68% e 62% respectivamente. A Baía de Sepetiba, com área intermareal de 71 km² (13%), possui o menor porcentual desse ambiente, seguida pelas baías de Todos os Santos e Guanabara, com áreas de 352 (29%) e 145 (32%) km² respectivamente.

Os valores de área intermareal devem ser entendidos como aproximados, visto que estes estuários sofreram processos de ocupação de suas margens, em especial a Baía de Guanabara, que perdeu enorme área marginal no processo de urbanização da região metropolitana do Rio de Janeiro.

ESTUÁRIO	A.T	S.	L	I.N.	V	I.V	1	SUP	RA	I.T	•
ESTUARIO	(km²)	(km²)	(%)								
BTS	1233	881	71	179	15	156	13	17	1	352	29
Paranaguá	708	426	58	128	18	159	22	12	2	299	42
Sepetiba	549	478	87	30	5	30	5	11	2	71	13
Guanabara	449	304	68	59	13	85	19	1	0	145	32
Camamu	400	129	32	76	19	179	45	16	4	271	68
Vitória	45	17	38	1	2	23	51	4	9	28	62

Tabela 3 - Relação das áreas das unidades geomorfológicas básicas dos seis estuários, onde A.T é a área total, S.L é a superfície líquida, I.N.V é a área intermareal não vegetada, I.V é a área intermareal vegetada, SUPRA é a área supramareal e I.T é a área intermareal total.



Figura 4 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Todos os Santos.



Figura 5 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Paranaguá.



Figura 6 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Sepetiba.



Figura 7 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Guanabara.



Figura 8 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Camamu.



Figura 9 - Mapa das unidades geomorfológicas básicas da Baía de Vitória.

3.2 MARÉS

As alturas de maré na entrada do estuário progridem de modo semelhante à da zona costeira adjacente, com menores alturas na região sul e sudeste (0,90 m) na Baía de Sepetiba e maiores alturas na região nordeste (1,86 m) na Baía de Todos os Santos (Figura 10). As diferenças de altura de maré entre a entrada do estuário e a plataforma adjacente devem-se ao condicionamento imposto à propagação da onda pelo relevo submarino vicinal às baías. Isto é evidente quando comparadas as alturas de maré na entrada das baías de Camamu e Todos os Santos e nas baías de Guanabara e Sepetiba, bem próximas umas às outras.

Em todos os estuários observa-se que ocorre amplificação da altura da maré para o interior. A maior amplificação da onda de maré ocorre na baía de Todos os Santos (1,03 m) e a menor na baía de Guanabara (0,19 m), considerando estações com distâncias semelhantes em relação à entrada do estuário. As baías de Todos os Santos e Camamu apresentaram as maiores alturas médias de sizígia nas estações mais internas, com alturas de 2,88 m e 2,03 m, respectivamente, enquanto a Baía de Guanabara apresentou a menor altura média de sizígia (1,14 m) (Tabela 4).

Tabela 4 - Alturas das preamares médias de sizígia (H) e distância relativa (DR) das estações maregráficas para os estuários relacionados. Número de forma relativo às marés das regiões internas dos estuários. Constituintes harmônicas retiradas das seguintes referências: 1 (FEMAR, 2000), 2 (Cirano e Lessa, 2007), 3 (Amorim, 2005), 4 (Rigo, 2004), 5 (Kjerfve *et al*, 1997).

ΓΟΤΙΙΆΡΙΟ	Maré Er	ntrada	Maré In	terna	Amplifi	cação	Nº de Forma
ESTUARIO	H (m)	DR	H (m)	DR	m	%	N _F
BTS	1,85 ²	0	2,88 ²	0,9	1,03	55	0,07
Paranaguá	1,31 ¹	0	1,79 ¹	0,9	0,48	37	0,22
Sepetiba	0,90 ¹	0	1,28 ¹	0,9	0,39	43	0,27
Guanabara	0,95 ¹	0	1,14 ⁵	0,8	0,19	20	0,33
Camamu	1,84 ²	0	2,03 ³	0,2	0,14	8	0,10
Vitória	1,29 ⁴	0	1,50 ⁴	0,7	0,20	16	0,20

As marés no interior das baías de Todos os Santos e Camamu são classificadas como mesomarés (altura de maré de sizígia entre 2 e 4 m), enquanto nos demais estuários estas são classificadas como micromarés (altura de maré de sizígia menor que 2 m), de acordo com a classificação de Davies (1964, *apud* Miranda *et al.*, 2002).

Os números de forma indicam que as marés das baías de Todos os Santos, Camamu, Vitória e Paranaguá são semidiurnas, enquanto as baías de Guanabara e Sepetiba possuem maré mista com predominância semidiurna. As componentes harmônicas semidiurna lunar principal (M₂) e semidiurna solar principal (S₂) foram as componentes com as maiores alturas para todos os estuários (Tabela 3).



Figura 10 - Variação da altura média de sizígia ao longo dos estuários. As distâncias das estações de maregrafia foram adimensionalizadas em relação ao comprimento total do estuário.

3.3 VOLUMES

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram que os volumes dos estuários variam entre 11,9 x10⁹ m³ (BTS) e 0,1 x10⁹ m³ (Vitória), enquanto os prismas de maré variam entre 2,4 x10⁹ m³ (BTS) e 0,03 x10⁹ m³ (Vitória). A análise da razão de fluxo (R/P) mostra que os prismas de maré dos estuários chegam a ser duas (Camamu e Vitória) a três (BTS, Paranaguá, Sepetiba e Guanabara) ordens de grandeza maior que a descarga líquida média, indicando maior influência da maré e potencialmente boa capacidade de mistura das massas d'água.

A Figura 11 apresenta a curva hipsométrica dos diferentes estuários, permitindo inferir os diferentes graus de preenchimento sedimentar. No caso da baía de Camamu, apenas 1% de sua área total está localizada abaixo da cota batimétrica correspondente a 50% da profundidade total (0,5). A Baía de Todos os Santos possui área aproximada de 17% para a mesma cota batimétrica. Se analisarmos a cota batimétrica correspondente a 10% da profundidade total (0,1) para os mesmos estuários, nota-se que aproximadamente 80% da

área de Camamu encontram-se em cotas batiméticas inferiores a 10% da profundidade total do estuário, enquanto esse valor é de aproximadamente 45% para a BTS.

Tabela 5 - Alturas médias de maré de sizígia, volume total, prisma de maré e razão de fluxo dos estuários relacionados. (Vol. Total = volume total) e (R = volume de água fluvial descarregada no estuário durante meio ciclo de maré).

ESTUÁRIO	Maré Média	Vol. Total	Prisma de Maré (P)	R	Razão de Fluxo
	m	m³	m³	m³	(R/P)
BTS	2,4	11,9 x10 ⁹	2,4 x10 ⁹	2,9 x10 ⁶	0,0012
Paranaguá	1,6	2,7 x10 ⁹	1,0 x10 ⁹	5,1 x10 ⁶	0,0051
Sepetiba	1,1	3,8 x10 ⁹	0,6 x10 ⁹	0,7 x10 ⁶	0,0012
Guanabara	1,1	2,3 x10 ⁹	0,4 x10 ⁹	2,4 x10 ⁶	0,0060
Camamu	2,0	1,0 x10 ⁹	0,4 x10 ⁹	1,2 x10 ⁶	0,0030
Vitória	1,4	0,1 x10 ⁹	0,3 x10 ⁸	0,4 x10 ⁶	0,0133

Estes exemplos mostram que os estuários que possuem curvas deslocadas para a esquerda possuem menores porcentagens de áreas com maiores profundidades (menores volumes), ou seja, apresentam menor espaço de acomodação ou capacidade de receber sedimentos (estágio de preenchimento sedimentar potencialmente mais avançado). Dentre os estuários estudados, os que apresentam estágio de preenchimento sedimentar potencialmente mais avançado são os estuários de Camamu, Paranaguá e Vitória.



Figura 11 - Curvas hipsométricas para os diferentes estuários. Área Adimensional = 1.0

corresponde à área total do estuário, que ocorre junto a superficie (0 de Profundidade Adimensional). Profundidade Adimensional = 1 corresponde à maior profundidade do estuário.

3.4 DESCARGA FLUVIAL

Os resultados apresentados (Tabela 6) mostram que o estuário a apresentar a maior bacia de drenagem foi a BTS (56.911 km²) com um total de 84 bacias contribuintes e vazão média de 124 m³/s e o que apresentou a menor bacia de drenagem foi Camamu (1.374 km²) com 21 bacias contribuintes e vazão de 63 m³/s. A magnitude das vazões fluviais não foi proporcional ao tamanho das bacias de drenagem e a vazão fluvial variou entre 230 m³/s e 19 m³/s para as baías de Paranaguá e Vitória, respectivamente.

As vazões específicas (vazão/área) para as baías de Todos os Santos, Paranaguá, Sepetiba, Guanabara, Camamu e Vitória são 0,002, 0,073, 0,014, 0,023, 0,046 e 0,011 m³s⁻¹/km² respectivamente e representam escoamento por área da bacia. O estuário com maior vazão específica é Paranaguá, com 0,073 m³s⁻¹/km² e o que apresenta menor vazão é a Baía de Todos os Santos, com 0,002 m³s⁻¹/km².

3.5 DESCARGA SÓLIDA

Neste tópico são apresentados os resultados das cargas sedimentares e taxas de sedimentação dos estuários, além das principais variáveis (litologia, altitude e temperatura do ar) utilizadas pelo modelo para o cálculo da carga sedimentar (Tabela 6). As Figuras 12 e 1 a 6 (Apêndice) mostram a distrubuição da litologia ao longo das bacias de drenagem, enquanto as Figuras 7 a 12 (Apêndice) mostram a produção de sedimentos das bacias de drenagem dos estuários. Os resultados das vazões fluviais e áreas das bacias de drenagem foram apresentadas no tópico 3.4.

Litologia

As classes de litologias das bacias de drenagem variam entre 0,5 a 3,0. A classe de litologia com valor mais elevado (3,0) foi encontrado apenas na BTS, enquanto as classes 1,5 e 2,0 estão ausentes nas baías de Camamu e Vitória respectivamente (Figura 12; Figuras 1 a 6 - Apêndice). A Baía de Todos os Santos possui aproximadamente 97% da área da sua bacia coberta pela classe 0,75, valor médio de 0,78, e a área coberta por classes de litologias friáveis representa menos de 3% da bacia. A Figura 1 (Apêndice) apresenta uma grande área de bacias com litologias friáveis, porém essa área é pequena quando comparada à extensão total da bacia de drenagem (Figura 2).

As baías de Camamu, Guanabara e Vitória possuem bacias de drenagem com áreas ocupadas por aproximadamente 92% por classes de litologias duras (Figura 12; Figuras 10, 11 e 12 - Apêndice), e os valores médios de litologia são 0,70, 0,78 e 0,56 (Tabela 6).

As baías de Sepetiba e Paranaguá são as que apresentam as maiores áreas de litologias friáveis, que correspondem a 14 e 11% da área da bacias respectivamente (Figuras 12; Figuras 2 e 3 - Apêndice). Essas baías possuem os maiores valores médios de litologia, 0,85 (Sepetiba) e 0,81 (Paranaguá). As baías de Sepetiba e Paranaguá são as que apresentam as maiores áreas de litologias friáveis, que correspondem a 14 e 11% da área da bacias respectivamente (Figura 12 e Figuras 2 e 3, Apêndice). Essas baías possuem os maiores valores médios de litologia, 0,85 (Sepetiba) e 0,81 (Paranaguá).



Figura 12 - Gráfico das porcentagens dos tipos de litologia (ver descrição dos valores na metodologia) para os estuários estudados.

Altidude das bacias

As altitudes médias das bacias de drenagem estão listadas na Tabela 6 e variam entre 750 m (Sepetiba) e 170 m (BTS). As bacias contribuintes das baías de Todos os Santos e Camamu apresentam as menores altitudes médias e as altitudes máximas são de 1.800 m e 600 m respectivamente.

As bacias de drenagem das baías de Paranaguá, Sepetiba e Guanabara apresentaram valores médios de altitudes próximos a 500 m e essas baías possuem 9, 7 e 5 bacias com altitudes superiores a 1.000 m, respectivamente, enquanto as baías de Vitória e de Todos os Santos apresentam apenas uma bacia com essa característica. Por outro lado, todas as bacias da Baía de Camamu possuem altitudes inferiores a 1.000 m.

• Temperatura do ar

As temperaturas médias anuais para as bacias de drenagem dos estuários variam em 4°C; a maior temperatura média encontrada para as baías de Todos os Santos e Camamu (25°C) e a menor para baía de Paranaguá (21°C). As baías de Guanabara, Sepetiba e Vitória apresentam temperatura média de 23°C.

Carga Sedimentar

O estuário que apresenta a maior descarga de sedimentos foi a Baía de Todos os Santos $(5,99 \times 10^9 \text{ kg/ano})$, enquanto Camamu apresenta a menor produção de sedimentos $(0,26 \times 10^9 \text{ kg/ano})$. As baías de Paranaguá e Guanabara possuem descarga sedimentar próxima a $2 \times 10^9 \text{ kg/ano}$, enquanto Sepetiba e Vitória possuem valores inferiores a $1 \times 10^6 \text{ kg/ano}$.

As maiores vazões específicas de sedimentos (descarga sólida / área da bacia) não ocorrem nos estuários com maior descarga sedimentar. A produção de sedimentos por km² é maior nas baías de Paranaguá (6,3 x10⁵ kg.km⁻²/ano) e Guanabara (4,8 x10⁵ kg.km⁻²/ano), e menor na BTS (1,0 x10⁵ kg.km⁻²/ano). As baías de Sepetiba, Vitória e Camamu apresentam vazões específicas de 4,0 x10⁵ kg.km⁻²/ano, 2,0 x10⁵ kg.km⁻²/ano e 1,9 x10⁵ kg.km⁻²/ano, respectivamente. As descargas sólidas anuais das bacias de drenagem dos estuários relacionados estão apresentadas na Figuras 7 a 12 (Apêndice).

Tabela 6 - Variáveis utilizadas para o cálculo da descarga sedimentar para ao seis estuários estudados. Número de bacias contribuintes (N^o Bacias), litologia média (L_M), descarga fluvial média (Q_M), descarga fluvial acumulada durante um ano (Q_{AC}), área das bacias de drenagem (A), média das altitudes máximas das bacias de drenagem (R_M), temperatura média do ar (T_M) e carga sedimentar (Q_S), para estuários relacionados.

εςτιμάριο	Nº	o w as	В				Q _M	Q _{AC}	А	Rм	Тм	Qs
ESTUARIO	Bacias		I	L _M	(1-Te)	E _H	(m³/s)	(Km³/ano)	(Km²)	(Km)	(ºC)	(10 ⁹ kg/ano)
BTS	84	0,0006	1	0,78	1	1	124	2,92	58.911	0,17	25	5,99
Paranaguá	58	0,0006	1	0,81	1	1	230	6,81	3.145	0,56	21	1,97
Sepetiba	18	0,0006	1	0,85	1	1	32	1,02	2.351	0,75	23	0,95
Guanabara	29	0,0006	1	0,78	1	1	85	2,69	3.748	0,53	23	1,79
Camamu	21	0,0006	1	0,70	1	1	63	2,01	1.374	0,21	25	0,26
Vitória	7	0,0006	1	0,56	1	1	19	0,55	1.703	0,51	23	0,34

3.6 TAXA DE SEDIMENTAÇÃO

Os resultados mostram que as baías que apresentaram as maiores taxas de sedimentação para as menores densidades e para as maiores densidades, esta última entre parêntesis, foram as de Vitória 4,24 (6,35) mm/ano e Todos os Santos 2,70 (4,05) mm/ano, enquanto as menores taxas de sedimentação foram encontradas para as baías de Camamu 0,36 (0,54) mm/ano e Sepetiba 1,00 (1,50) mm/ano (Tabela 7).

ESTUÁRIO	Taxa d	e Sedimentação (mm/a	ano)
Densidade (kg/m ³)	1200	1500	1800
BTS	4,05	3,24	2,70
Paranaguá	2,33	1,86	1,55
Sepetiba	1,50	1,20	1,00
Guanabara	3,33	2,66	2,22
Camamu	0,54	0,46	0,36
Vitória	6,35	5,08	4,24

Tabela 7 - Taxas de sedimentação para os seis estuários avaliados neste trabalho.



Figura 13 - Relação entre taxas de sedimentação e profundidades médias para os estuários estudados. A linha vermelha, inserida manualmente, sugere a tendência lógica esperada para a variação da profundidade média dos estuários.

4 DISCUSSÃO

As áreas totais dos estuários apresentam valores superiores aos valores encontrados na literatura. Amorim (2005) e Kjerfve *et al.* (1997) encontraram a área de 384 km² para as baías de Camamu e Guanabara, respectivamente, enquanto os valores encontrados neste trabalho foram de 400 km² (Camamu) e 449 km² (Guanabara), Tabela 3. Barcellos *et al.* (1997) apresentam área de 447 km² para a Baía de Sepetiba, contra a área de 549 km² apresentada na Tabela 3. Isso se deve aos diferentes limites externos adotados (limite estuário-oceano) pelos diferentes autores e à inclusão ou exclusão das áreas intermareais e supramareais. Dentre os estuários estudados, aquele onde ocorreu a maior similaridade (diferença de apenas 4 km²) dos dados foi o de Paranaguá, com área proposta por Noernberg *et al.* (2004) de 704 km², a qual inclui o espelho d'água e as áreas intermareais.

Os maiores espelhos d'água relativos não se associam aos maiores estuários. A Baía de Sepetiba possui 87% de sua área total como espelho líquido, enquanto a BTS apresenta apenas 71%. A Baía de Vitória apresentou a maior porcentagem de área supramareal (9%), enquanto a Baía de Guanabara tem apenas 1 km² (0%) de sua área relativo a esse ambiente.

Áreas supramareais podem indicar tanto situação de alagamento como emersão recente do entorno dos estuários, o que está associado tanto a oscilações do nível médio do mar quanto a alteração da morfologia estuarina (incluindo a desembocadura), a qual pode amortecer ou amplificar as oscilações de maré no estuário. No caso da Baía de Guanabara o aterro das áreas marginais pode ser responsável pela pequena expressão da região de supramaré.

Os valores das vazões fluviais utilizados neste trabalho são coerentes e mostram pequenas variações em relação aos valores encontrados na literatura: 115,9 m³/s para a BTS (Lessa *et al.*, 2009), 200 m³/s para Paranaguá (Marone *et al.*, 2006), 100 m³/s para Guanabara (Kjerfve *et al.*, 1997), 53 m³/s para Camamu (Amorim, 2005) e 18,7 m³/s para Vitória (Rigo, 2004). Exceção é feita à Baía de Sepetiba, onde a vazão fluvial de 108 m³/s relatada por Molisani *et al.* (2004) é muito maior que a vazão apresentada aqui (32 m³/s). Esta diferença ocorre porque Molisani *et al.* (2004) considera a transposição de 160 m³/s de água do Rio Paraíba do Sul para a bacia do Rio Guandu (principal afluente da Baía de Sepetiba), fato desconsiderado nesse trabalho devido à sua dimensão temporal.

A natureza do clima apresenta grande importância na vazão fluvial. Analisando os estuários com maior vazão específica (Paranaguá, Sepetiba, Guanabara e Camamu), nota-se que 3 deles encontram-se no litoral sudeste, região na qual o clima predominante é superúmido, devido à proximidade do relevo elevado (Serra do Mar) à linha de costa, que retém a

umidade e favorece a precipitação orográfica, fato que mostra a grande importância do clima (temperatura e precipitação) na descarga fluvial para os estuários.

Outro exemplo refere-se às vazões absolutas da BTS e da Baía de Paranaguá. Apesar da bacia de drenagem da BTS ser aproximadamente 15 vezes maior que a de Paranaguá (segunda maior bacia), a descarga média anual de Paranaguá é quase duas vezes maior que a da BTS, que tem a maior parte de sua bacia de drenagem inserida em uma região semi-árida.

As descargas fluviais totais e específicas apresentaram correlação positiva em relação às diferenças climáticas no trabalho de Souza e Knoppers (2003), que caracterizou os fluxos de água e sedimentos das bacias da costa leste brasileira e os correlacionou com a tipologia e pressões antrópicas nelas encontradas.

O fenômeno da amplificação das marés presente nos estuários (Figura 10) nos leva a classificá-los como hipersíncronos, onde alturas das marés e correntes aumentam em direção à cabeceira do estuário, de acordo com Nichols e Bigs (1985 *apud* Miranda *et al.*, 2002). Segundo Miranda *et al.* (2002), o fenômeno da amplificação pode ser explicado pela interação das ondas de maré com a morfologia do estuário e uma convergência das margens do estuário pode comprimir lateralmente a onda de maré, resultando no aumento da altura da onda de maré. Este fato foi comprovado na Baía de Paranaguá por Noernberg *et al.* (2004) e Lessa *et al.* (2001; 2009) na BTS.

A amplificação da maré dentro dos estuários possibilita a existência de maior prisma de maré. Prismas de maré maiores se relacionam, potencialmente, a correntes mais velozes e maior capacidade de mistura das massas de água. A razão de fluxo (R/P), definido pela razão entre a descarga fluvial acumulada em um ciclo de maré (R) e o prisma de maré (P), apresenta valores entre 0,0012 (BTS e Sepetiba) e 0,0133 (Vitória). De acordo com a classificação de Simmons (1955, *apud* Miranda *et al.*, 2002), todos os estuários são considerados bem misturados (razão de fluxo inferior a 0,1). Esse fato mostra que a estratificação do fluxo é similar para todos os estuários, e portanto não é, inicialmente, um parâmetro a ser considerado na avaliação do grau de preenchimento sedimentar.

As baías com maiores área totais, BTS com 1.233 km², Paranaguá com 708 km² e Sepetiba com 549 km², apresentaram os maiores volumes e prismas de maré, porém a baía de Sepetiba (3,8 Km³) apresenta volume quase um terço maior que a Baía de Paranaguá (2,7 km³). Esse fato é explicado pela ampla área intermareal da Baía de Paranaguá, que torna sua área de superfície líquida menor que a da Baía de Sepetiba, além de menores áreas com maiores profundidades apresentadas nas curvas hipsométricas dos estuários (Figura

11). Os maiores prismas de marés também correspondem aos estuários com maior amplificação das marés.

Foram calculadas duas profundidades médias; a primeira pela razão entre os volumes e as áreas abaixo da cota média de preamar dos estuários, e a segunda pela razão entre os volumes e as áreas abaixo do zero hidrográfico dos estuários, este último entre parêntesis. Os valores encontrados foram 9,6 (9,9) m para a BTS, 3,9 (4,4) m para Paranaguá, 7,0 (6,7) m para Sepetiba, 5,1 (6,1) m para Guanabara, 2,6 (5,1) m para Camamu e 2,2 (3,9) m para Vitória. As profundidades médias dos estuários corroboram os resultados da curvas hipsométricas e mostram que as baías de Paranaguá, Camamu e Vitória, com menores profundidades médias, apresentam um estágio de preenchimento sedimentar potencialmente mais avançado.

As baías de Camamu e Vitória apresentam as menores descargas sólidas absolutas. Este fato está associado ao tamanho da bacia de drenagem, pois estuários com maiores descargas fluviais e menores bacias de drenagem (Camamu) possuem menor descarga sólida absoluta, quando comparados a estuários com menores descargas fluviais e maiores áreas de drenagem (Vitória e Sepetiba - Tabela 6, Figuras 18-23).

Em relação às descargas sólidas específicas (kg.km⁻²/ano), as maiores são encontradas nas baías de Paranaguá (6,3 x10⁵), Guanabara (4,8 x10⁵) e Sepetiba (4,0 x10⁵), as quais possuem as maiores altitudes médias e maiores quantidades de bacias com altitudes superiores a 1.000 m. Isto indica que a altitude, juntamente com a área de drenagem, são as principais variáveis da equação da carga sedimentar. Uma correlação positiva entre a área da bacia e a descarga sedimentar é também indicada por Souza e Knoppers (2003). No entanto, estes autores não encontraram correlação significativa entre altitude máxima e carga sedimentar e sugerem a hipótese de que impactos antrópicos de retenção de sedimentos (i.e., barragens) possam mascarar essa correlação.

A qualidade das estimativas de descarga sólida apresentadas neste trabalho pode ser avaliada comparando-se com resultados de descargas de sedimento apresentadas para para as baías de Sepetiba (Barcellos *et al.*, 1997; Molisani *et al.*, 2006) e Paranaguá (Mantovanelli, 1999). Barcellos *et al.* (1997) calculou a descarga sedimentar da Baía de Sepetiba a partir de armadilhas de sedimentos instaladas nas desembocaduras dos principais rios da região (Canal de São Francisco, Rio Guandu e Rio Guarda). O valor estimado pelo autor é de aproximadamente 0,6 x10⁹ kg/ano, contra 0,95 x10⁹ kg/ano encontrado neste trabalho. No entanto, esse estuário sofreu grande alteração antrópica na sua bacia de drenagem (transposição de água e construção de diversas barragens) e não se sabe qual a influência destes fatores sobre a descarga sedimentar "natural". Barcellos *et*

al. (1997) citam ainda dois outros valores de descargas sedimentares médias, 0,30 x10⁹ kg/ano (Watts 1990) e 0,59 x10⁹ kg/ano (Rezende, 1993), mas sugerem que estes valores são subestimados devido ao fato de terem sido calculados em períodos "secos".

Molisani *et al.* (2006) fazem uma análise detelhada das descargas sólidas e líquidas da principal bacia de drenagem da Baía de Sepetiba (Rio Guandu), usando a equação empírica de produção de sedimentos proposta por Morehead *et al.* (2003) e medições de campo. Os autores levaram em consideração o bombeamento de água do Rio Paraíba do Sul e a retirada dos sedimentos pelas barragens e para abastecimento de cidades. Os resultados mostram que a descarga sólida que chega à Baía de Sepetiba é de 0,85 x10⁹ kg/ano, sendo 28% (0,27 x10⁹ kg/ano) desse aporte sedimentar é um incremento resultante da transposição de águas do Rio Paraíba do Sul. Portanto, o valor a ser considerado é de 0,58 x10⁹ kg/ano, muito próximo do valor proposto por Barcellos *et al.* (1997).

Os resulktados aqui obtidos mostram que a bacia do Rio Guandu é responsável por 0,66 $\times 10^9$ kg/ano do total de 0,95 $\times 10^9$ kg/ano. Mantendo-se a devida proporção, o valor da descarga sedimentar "natural" total para a Baía de Sepetiba, seria de 0,83 $\times 10^9$ kg/ano. Supondo que o aumento da carga sedimentar causado pelas alterações antrópicas (e.g., retilinização de canais, desmatamento etc.) se anule com a diminuição da descarga sólida induzida pelas barragens, o valor apresentado por Molisani *et al.* (2006) (0,83 $\times 10^9$ kg/ano) mostra-se próximo do valor estimado neste trabalho (0,95 $\times 10^9$ kg/ano) para a descarga sólida "natural" da Baía de Sepetiba.

Mantovanelli (1999) avaliou a descarga de material particulado em suspensão para as baías de Antonina e Paranaguá em 2 campanhas (estações seca e chuvosa) de medições instantâneas em 20 rios da região drenando 258 km². Os resultados indicaram uma descarga sólida correspondente a 0,8 x10⁹ kg/ano, que se extraplados para toda a bacia de drenagem da baía resulta em um total aproximado de 2,2 x10⁹ kg/ano. A descarga sólida calculada neste trabalho (2,0 x10⁹ kg/ano) é ligeiramente menor ao valor sugerido pelo trabalho de Mantovanelli (1999). Esta diferença pode ser explicada pelo grande desmatamento da Mata Atlântica da região, aumentando assim a susceptibilidade de erosão do solo e, consequentemente, um aumento da produção de sedimentos, de modo que a descarga sólida calculada por este trabalho é bastante razoável face às medições de campo.

Quando utilizamos o valor da descarga sedimentar para o cálculo da taxa de sedimentação, a carga arenosa acaba sendo incluída. Desta forma, as taxas de sedimentação seriam, incialmente, as mais altas possíveis, considerando que todo o sedimento corresponde à fração lama. Por outro lado, existe a agregação de material orgânico, que pode ser significativa em peso – valor máximo de 13% para Sepetiba (Barcellos *et al.*, 1997) e 30% para Paranaguá (Lamour *et al.*, 2004), durante a floculação do sedimento, e esta matéria orgânica não está incluída no cálculo. Pode ser que a inclusão da fração arenosa e a não inclusão da matéria orgânica terminem então por cancelarem-se.

Taxas de sedimentação foram calculadas para as baías de Todos os Santos (Argollo, 2001), Guanabara (Amador, 1980 e Godoy *et al.*, 1998) e Paranaguá (Odreski *et al.*, 2003). Na BTS as taxas medidas a partir da datação radiométrica de testemunhos (²¹⁰Pb) variaram entre 2,87 mm/ano e 10,20 mm/ano, utilizando uma densidade para o sedimento úmido de 2.500 Kg/m³. Argollo (2001) considera que as taxas de sedimentação para os últimos 5.000 anos encontram-se no intervalo entre 0 e 4 mm/ano, similar aos valores apresentados na Tabela 6. As taxas de sedimentação mais elevadas encontradas por Argollo (2001) são atribuídas à sedimentação recente, reflexo de alterações da cobertura do solo e intensos processos erosivos nas regiões onde os testemunhos foram coletados.

As taxas de sedimentação para a Baía de Guanabara foram calculadas por Amador (1980) analisando a evolução batimétrica da baía a partir de cartas batimétricas, publicadas pela DHN, de períodos entre 1849-1922 e 1938-1962. O valor médio encontrado no período 1849-1922 foi de 2,7 mm/ano, enquanto esse valor aumenta para 8,7 mm/ano no período entre 1938-1962, sendo que algumas áreas apresentam taxas de sedimentação superiores a 10 mm/ano, chegando ao extremo de 40 mm/ano. O autor estima que a taxa de sedimentação atual seja superior a 10 mm/ano, e atribui esse valor ao fato de a Baía de Guanabara ser uma das baías que mais sofreram com impactos antrópicos no Brasil, citando como exemplo a canalização de grande parte dos seus rios e aterro de grandes áreas no seu entorno para urbanização.

Godoy *et al.* (1998) calcularam as taxas de sedimentação para a Baía de Guanabara através de datação radiométrica (²¹⁰Pb) em testemunhos. As taxas de sedimentação para profundidades abaixo de 40 cm nos testemunhos (valores relativos ao período anterior a 1950) variam entre 1,2 mm/ano e 2,8 mm/ano, enquanto as taxas de sedimentação recentes (acima de 40 cm de profundidade) variam entre 6,1 mm/ano e 26 mm/ano. Os autores estimam que as taxas atuais de sedimentação encontram-se no intervalo entre 10 e 20 mm/ano e também atribuem esse elevado valor ao grande impacto antrópico que a Baía de Guanabara vem sofrendo. As taxas de sedimentação referentes aos perídos que antecedem grandes impactos antrópicos na Baía de Guanabara, mostrados por Amador, 1980 e Godoy *et al.*, 1998, apresentam valores entre 1 e 3 mm/ano, sendo valores muito próximos aos valores estimados pelo presente trabalho (Tabela 7).

Odreski *et al.* (2003) calcularam as taxas de sedimentação para a Baía de Antonina (região localizada no eixo W-E da Baía de Paranaguá, que recebe grande influência dos rios Cachoeira e Nhundiaquara – Figura 4) analisando a evolução batimétrica da baía a partir de cartas batimétricas do período 1901-1971, publicadas pela DHN. A taxa de sedimentação encontrada foi de 26 mm/ano. Apesar da sua localização na porção superior do estuário, que apresenta tendência natural de assoreamento, o autor atribui esse elevado valor à influência antrópica exercida na região, representada pela interligação das bacias dos rios Capivari e Cachoeira para fins hidroelétricos, desmatamentos nas bacias de drenagem da região, atividades de dragagem e despejo. Essas atividades contribuíram significativamente para acelerar o processo de assoreamento deste setor da Baía de Paranaguá.

Até o momento, os dados de descarga sólida (carga sedimentar e taxas de sedimentação) apresentados neste trabalho mostraram-se coerentes com os valores encontrados na literatura, à exceção de Paranaguá.

Uma forma de avaliar a importância da descarga sólida no preenchimento sedimentar dos estuários pode ser estimado o tempo necessário para assoreamento completo das baías dividindo as profundidades médias abaixo da cota média de preamar e abaixo do zero hidrográfico dos estuários, esta última entre parênteses, pela taxa de sedimentação para a densidade sedimentar de 1.500 kg/m³, valor intermediário para as densidades médias dos sedimentos descritos na literatura. O tempo necessário para o assoreamento completo das baías baías estudadas é de 2.962 anos (3.055) para BTS, de 2.096 anos (2.365) para a Baía de Paranaguá, de 5.833 anos (5.583) para a Baía de Sepetiba, de 1.917 anos (2.293) para a Baía de Guanabara, de 5.652 anos (11.086) para a Baía de Camamu e de 433 anos (767) para a Baía de Vitória.

Uma hipótese a ser considerada é a de que estuários com maiores taxas de sedimentação tendem a apresentar estágio de preenchimento sedimentar mais avançado (pequenas profundidades médias). A análise da Figura 13, a qual relaciona as taxas de sedimentação para a densidade sedimentar de 1.500 kg/m³, e as profundiades médias abaixo da cota média de preamar dos diferentes estuários, mostra que as taxas de sedimentação tendem a diminuir à medida que as profundidades médias aumentam (linha vermelha), o que está de acordo com a hipótese inicial. Nota-se, porém, que as baías de Todos os Santos e Camamu apresentam-se distoantes desta tendência, com a BTS apresentando profundidades bem mais profundas do que aquelas sugeridas pela linha de tendência geral e Camamu apresentando o comportamento oposto.

As discrepâncias podem estar relacionadas a questões estruturais como movimentos tectônicos e geometria do paleovale. Processos tectônicos podem ter causado subsidência

na BTS durante o Holoceno, de acordo com Lessa e Gomes (2009, submetido), o que criaria espaço de acomodação para os sedimentos em uma taxa igual ou superior à capacidade de preenchimento do estuário pela descarga sedimentar. Outro fator que deve ser levado em consideração é a rentenção de parte da descarga sedimentar do rio Paraguaçu na baía de Iguape, o que diminuiria as taxas de sedimentação calculadas e explicaria o grande espaço de acomodação presente na BTS. No entanto, de acordo com Carvalho (2000) e Lessa e Dias (2003), os sedimentos de fundo da Baia de Iguape e Canal de São Roque são de grosso calibre e indicam a existência de janelas estratigráficas, ou ausência de deposição de sedimentos, na maior parte dos canais.

A explicação para a pequena profundidade da Baía de Camamu pode estar relacionada, por outro lado, a um paleovale estreito e/ou de pequena incisão, já que a morfologia do seu contorno não mostra evidências de emersão durante o Holoceno, de acordo com Lessa e Gomes (2009, submetido). Além disso, a contribuição da elevada produção de sedimentos autóctones em estuários tropicais, principalmente carbonato de cálcio (conchas de moluscos e crustáceos e algas carbonáticas), deve ser também levada em consideração no calculo das taxas de sedimentação. Uma associação entre a morfologia do paleovale, descarga sedimentar, produção de sedimentos autóctones e importação de sedimentos pelas correntes de maré (carbonático – extenso banco de corais na entrada da baía) pode ser utilizada, por exemplo, para explicar as pequenas profundidades médias da Baía de Camamu.

Considerando um paleovale raso para a baía, as pequenas taxas de sedimentação e a alta produção e importação de sedimentos carbonáticos poderiam preencher o paleocanal da Baía de Camamu e explicar o avançado estágio de preenchimento sedimentar do estuário. Desta forma, as taxas de sedimentação podem ser utilizadas para explicar os diferentes estágios de preenchimento sedimentar das baías estudadas, porém não são os únicos fatores que devem ser utilizados para explicá-los.

5 CONCLUSÕES

Os estuários estudados apresentaram uma grande variabilidade de características geomorfológicas e nas descargas fluviais e sedimentares. Os valores das descargas sólidas apresentaram, inicialmente, maior relação com as áreas de drenagem dos estuários, mas a análise das descargas específicas de sedimentos mostram que a tipologia (altitude da bacia) e variáveis climáticas (que influenciam na descarga fluvial) possuem maior importância para a produção de sedimentos.

O modelo BQART utilizado para o cálculo da descarga sedimentar apresentou resultados coerentes com os dados encontrados em literatura, assim como as taxas de sedimentação calculadas que estão bastante próximas a valores obtidos com datação com radioisótopos para as baías de Todos os Santos e Guanabara.

As baías de Todos os Santos, Sepetiba e Guanabara apresentam um estágio de preenchimento sedimentar potencialmente menos avançado (maiores profundidades médias) quando comparados às demais baías estudadas (Paranaguá, Camamu e Vitória). As profundidades médias apresentaram relação direta com as taxas de sedimentação e os estuários com maiores taxas de sedimentação tendem a ter menores profundidades médias, com exceção das baías de Todos os Santos e Camamu.

As diferentes características apresentadas pela BTS (altas taxas de sedimentação e grande profundidade média) e Baía de Camamu (baixa taxa de sedimentação e pequenas profundiades médias), mostram que as descargas sólidas explicam, apenas em parte, os diferentes estágios de preenchimento sedimentar apresentados para os estuários estudados.

Outros fatores a serem levados em consideração para explicar as profundidades médias encontradas para as baías relacionadas nesse trabalho são: processos tectônicos (subsidência), morfologia (profundidade) dos paleovales dos estuários durante a última transgressão, produção de sedimentos autóctones (carbonato de cálcio) e importação de sedimentos por correntes de maré.

Em etapas futuras serão adicionadas as variáveis antrópicas (eficiência de retenção de sedimentos por barragens e influência antrópica na erosão do solo) ao modelo BQART para a calibração do modelo as condições atuais de utilização dos solos das bacias hidrográficas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amador ES. 1980. Assoreamento da Baía de Guanabara - Taxas de Sedimentação. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 50(1):723-742.

Amorim FN. 2005. Caracterização Oceanográfica da Baía de Camamu e Adjacências e Mapeamento das Áreas de Risco a Derrames de Óleo. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, 191 p.

Angulo RJ; Lessa GC e Souza MC. 2006. A critical review of the mid- to late Holocene sealevel fluctuations on the eastern brazilian coastline. Quaternary Science Reviews, Londres, 25 (5-6): 486-506.

Argollo RM. 2001. Cronologias de sedimentação recentee de deposição de metais pesados na Baía de Todos os Santos usando Pb 210 e Cs137. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, 104 p.

Barcellos C, Lacerda LD e Ceradini S. 1997. Sediment origin and budget in Sepetiba Bay (Brazil) – an approach based on multielemental analysis. Environmental Geology, 32 (3): 203-209.

Caruso Jr F. 1993. Texto Explicativo. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina Escala 1:100.000.. Notas Técnicas, Porto Alegre, 6: 1-28.

Carvalho JB. 2000. Morfoestratigrafia holocênica da Baia de Iguape, Bahia: influências das variaçõe eustáticas do nível relativo do mar e atividades neotectônicas. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia.

Cirano M e Lessa GC. 2007. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. Part I: circulation and seasonal variations described from *in situ* data. Revista Brasileira de Geofísica 25(4): 363-387.

Dalrymple RW, Zaitlin BA e Boyd R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications: Journal Sedimentary Petrology, 62(6): 1130-1146.

Dominguez JML, Bittencourt ACSP e Martin L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east–northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. Sed. Geol. 80: 213–232.

Dominguez JML. 2009. The Coastal Zone of Brazil. In: Dillenburg S, Hesp P (Org). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Ed. Springer, 380 v.1, p 17-51.

Dyer KR, Christie MC, Feates N, Fennessy MJ, Pejrup M e van der Lee W. 2000. An Investigation into Process of an Intertidal Mudflat, the Dollard Estuary, The Netherlands: I.

Hydrodynamics and Suspended Sediment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 50: 607-625.

Dyer KR e Manning AJ. 1999. Observation of the size, settling velocity and effective density of flocs, and their fractal dimensions. Journal of Sea Research, 41: 87-95.

FEMAR, 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Online em http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/cat_emb.html acesso em março/2008.

Godoy JM, Moreira I, Bragança MJ, Wanderley C, Mendes LB. 1998. A Study of Guanabara Bay Sedimentation Rates. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 227:157-160.

Kjerfve B, Ribeiro CHA, Dias GTM, Filippo AM e Quaresma VS. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. Cont. Shelf Res., 17:1609-1643.

Lamour MR, Soares CR e Carrilho JC. 2004. Mapas de parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR. Boletim Paranaense de Geociências, 55: 77-82.

Lessa GC, Bittencourt ACSP, Britcha A e Dominguez JML. 2000. A Reevaluation of Late Quaternary Sedimentation of Todos os Santos Bay (BA), Brazil. Anais da Acadêmia Brasileira de Ciências, 72: 573-590.

Lessa GC, Dominguez JML, Bittencourt ACSP e Britcha A. 2001. The Tides and Tidal Circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil: a general characterization. An. Acad. Bras. Ciênc. vol.73 (2).

Lessa GC. 2005. Baías brasileiras: grandes estuários em uma costa regressiva. Anais X Congresso ABEQUA, Guarapari (ES), Outubro, arquivo digital 0299_abequa_sedimentologia.pdf, 4 p.

Lessa GC, Cirano M, Genz F, Tanajura CAS e Silva RR. 2009. Oceanografia Física. In: Hatje, V.; Andrade, J. B.. (Org). Baía de Todos os Santos - Aspectos Oceanográficos. ed. Salvador: EDUFBA, v.1, p 71-119.

Lessa CG e Corrêa-Gomes LC. 2009. The Brazilian Coastal Bays: Are They Expressions of Tectonically Controlled Local Subsidence? (Submetido).

Lessa GC e Dias K. 2009. Distribuição espacial das litofacies de fundo da Baía de Todos os Santo. Quaternary and Environmental Geosciences, 1(2) no prelo.

Lima GMP e Lessa GC. 2002. The fresh-water discharge in Todos os Santos Bay (BA) and its significance to the general water circulation. Pesquisas, 28(2):85-98.

Mantovanelli A. 1999. Caracterização da Dinâmica Hídrica e do Material Particulado em Suspensão na Baía de Paranaguá e em sua Bacia de Drenagem. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, 169 p.

Mantovanelli A, Marone E, da Silva ET, Lautert LFC, Klingenfuss MS, Prata VP, Noernberg MA, Knoppers AM e Angulo RJ. 2004. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, (59)4: 523-537.

Marone E, Machado EC, Lopes RM e Silva ET. 2006. Land-Ocean Fluxes in the Paranaguá Bay Estuarine System, Southern Brazil. Brazilian Journal of Oceanography, 53 (3/4): 169-181.

Martin L, Suguio K e Flexor JM. 1993. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário superior e a evoluçãoo geológica de 'deltas' brasileiros. Bol. IG-USP, Publ. Esp. 15, Univ. de São Paulo, Instituto de Geociências, 186 pp.

Martins ESF. 2006. Geração e atualização de base cartograficas de dados SRTM para a costa de manguezais do Pará e Maranhão. Iniciação Científica. (Graduando em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Pedro Walfir Martins e Souza Filho.

Miranda LB, Castro BM e Kjerfve B. 1997. Circulation and Mixing Due to Tidal Forcing in the Bertioga Channel, São Paulo, Brazil. Estuaries. 21(2):204-214.

Miranda LB, Castro BM e Kjerfve B. 2002. Princípios da Oceanografia Física de Estuários. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.Cap 2.

Molisani MM, Kjerfve B, Silva AP e Lacerda LD. 2006. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from na anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. Journal of Hydrology, 331: 425-433.

Muehe. 1998. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentalização. In: Cunha SB, Guerra AJT. Geomorfologia do Brasil. Editora Bertrand Brasil. v.1: 270-349.

Netto Junior JPB. 2005. Características da Dinâmica Hídrica e Estratificação do Subestuário de Guaraqueçaba (Complexo Estuarino de Paranaguá – Brasil) durante um Ciclo de Maré de Sizígia. Monografia de graduação em Oceanografia, UFPR, 93 p.

Noernberg MA, Lautert LFC, Araújo AD, Marone E, Angelotti E, Netto Jr. JPB e Krug LA. 2006. Remote Sensing and GIS Integration for Modeling the Paranaguá Estuarine Complex - Brazil. Journal of Coastal Research, SI (39): 1627-1631.

Odreski LLR, Soares CR, Angulo RJ e Zen RC. 2003. Taxas de assoreamento e a influência antrópica no controle da sedimentação da Baía de Antonina – Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, 53:7-12.

Palmer MAB, Kjerfve B e Schwing FB. 1980. Tidal analysis and prediction in a South Carolina estuary. Contr Mar Sci 23: 17-23.

Rigo D. 2004. Análise do Escoamento em Regiões Estuarinas com Manguezais – Medições e Modelagem na Baía de Vitória, ES. Tese de Doutoramento, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 156 p.

Souza Filho PWM, Cohen MCL, Lara RJ, Lessa GC, Koch B e Behling H. 2006. Holocene coastal evolution and facies model of the Bragança macrotidal flat on the Amazon Mangrove Coast, Northern Brazil. Journal of Coastal Research, USA, SI (39) 306-310.

Souza Filho PW, Lessa GC, Cohen MCL e Lara R. 2009. Trangressive barrier estuarine systems of the Eastern Amazon coast, Northern Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences, 107: 347-375.

Souza WFL e Knoppers B. 2003. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. Geochim. Brasil., 17(1): 057-074.

Syvitski JPM, Milliman JD, 2007. Geology, Geography, and Human Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean. The Journal of Geology, 115 1-19.

7 APÊNDICE



Figura 1 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da BTS.



Figura 2 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Paranaguá.



Figura 3 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Sepetiba.



Figura 4 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Guanabara.



Figura 5 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Camamu.



Figura 6 - Mapa de classes litológicas para as bacias de drenagem da Baía de Vitória.







Figura 8 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Paranaguá.







Figura 10 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Guanabara.







Figura 12 - Descarga sólida anual das bacias de drenagem da Baía de Vitória.