

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação de Mestrado
será disponibilizado somente
a partir de **21/12/2018**.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS ESTUÁRIOS DOS
RIOS ITAGUARÉ E GUARATUBA (BERTIOGA, SP) COM BASE
NOS PARÂMETROS GEO-FÍSICO-QUÍMICOS, BATIMETRIA E
IMAGEAMENTO DO FUNDO

KLEBER BARRIONUEVO BARALDO

SÃO VICENTE -SP
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista

CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS ESTUÁRIOS DOS
RIOS ITAGUARÉ E GUARATUBA (BERTIOGA, SP) COM BASE
NOS PARÂMETROS GEO-FÍSICO-QUÍMICOS, BATIMETRIA E
IMAGEAMENTO DO FUNDO

Aluno: Kleber Barrionuevo Baraldo

Orientador: Dr. Francisco Sekiguchi de Carvalho e Buchmann

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus do Litoral Paulista, UNESP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Aquática

SÃO VICENTE - SP
2018

551.4 Baraldo, Kleber Barrionuevo
B231 Caracterização e comparação dos estuários dos rios Itaguapé e
Guaratuba (Bertioga, SP) com base nos parâmetros geo-físico-
químicos, batimetria e imageamento do fundo / Kleber
Barrionuevo Baraldo. - São Vicente, 2018.

99 p.: il, figs., gráfs.,

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Campus do Litoral Paulista - Instituto de Biociências.

Orientador: Francisco Sekiguchi de Carvalho e Buchmann

1. Estuários. 2. Geomorfologia. 3. Morfodinâmica. 4.
Itaguapé, Rio. 5. Guaratuba, Rio. 6. Bertioga (SP). I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNESP
Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO:

AUTOR: KLEBER BARRIONUEVO BARALDO

ORIENTADOR: FRANCISCO SEKIGUCHI DE CARVALHO E BUCHMANN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em BIODIVERSIDADE AQUÁTICA, área: BIODIVERSIDADE pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. FRANCISCO SEKIGUCHI DE CARVALHO E BUCHMANN
Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista / UNESP

Prof. Dr. JOSEPH HARARI
Instituto Oceanográfico / USP



Prof. Dr. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES
Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista / UNESP



São Vicente, 21 de junho de 2018.

*"Dedico este trabalho à minha querida Chess, que desde 2010 consegue fazer os meus dias melhores e mais felizes. Pelo carinho, atenção, paciência, sinceridade, e pelo fator multiplicador que você trouxe às coisas boas da minha vida. Com você, vou até o infinito, e além!
Te amo!" =o)*

AGRADECIMENTOS

Primeiro, e mais importante, à Chess (Jésica Fey), por todo o apoio desde o começo do mestrado. Pela ajuda em praticamente todas as etapas do trabalho. Pelas horas e horas de análise dos dados, escrita do texto, correrias, e por ter alguém tão especial para poder dividir os momentos bons (principalmente aqueles que sentimos quando percebemos que os dados do trabalho fazem sentido!).

Ao grande amigo e orientador prof. Dr. Francisco Buchmann (Chico Buchmann) que literalmente embarcou nessa aventura. Pelo apoio, conversas, apoio logístico, e principalmente pela parceria de mais de dez anos.

Aos Dr. Roberto Fontes (Bob) e Dra. Milene Fornari pela ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa, pelas correções e dicas de grande valia no exame de qualificação.

Aos Dr. Joseph Harari e Dr. Roberto Fontes, por aceitarem compor a banca examinadora da dissertação, e pelas excelentes considerações elencadas, que melhoraram consideravelmente a qualidade técnica deste trabalho.

À Dra. Ana Júlia Fernandes, coordenadora da do programa de pós-graduação, pelo apoio, boa vontade e disposição para encontrar soluções em tempos em que conciliar o mestrado e o trabalho foi mais difícil.

À CODESP, por autorizar minha dispensa do trabalho nos dias de coleta e durante as disciplinas do mestrado.

Aos meus amigos e colegas de trabalho Mauricio Gaspar e Luis Antonio Nogueira Jr., por aguentarem o “tranco” do maior porto do Hemisfério Sul durante a minha ausência no trabalho.

Aos funcionários da Secretaria Técnica Acadêmica da UNESP, e aos técnicos de laboratório, pela paciência, boa vontade e agilidade na assistência aos alunos, em especial a Aline, por toda a ajuda com as amostras de sedimentos.

Ao grande amigo Tan Tjui Yeuw pelo companheirismo de sempre, e pelas considerações e ajuda com o final do manuscrito.

À Roberta Merguizo, por todo o apoio e dicas valiosas, e principalmente pelos modelos de relatórios e formulários (já com a formatação certa!), e pela disposição para responder a qualquer pergunta a qualquer hora.

À Catota (Camila) e à família Nakaharada, pela hospedagem e apoio logístico (“Base Científica - UNESP Guaratuba”), além dos papos cabeça, sempre tão necessários para a nossa boa sanidade mental.

À Satu (Luísa Tavares) e ao Cala (Luís Felipe), por nos receberem sobretudo aos finais de semana de coleta, ou arranjar um teto pra gente (obrigado Aline e Raphael!).

A todos os que colaboraram durante as coletas: Caio Miyai (Shibinha) Henrique Chaves, Erick Antal Cruz, Lucas Morais (Geleia), Catota, e obviamente à Chess, que não perdeu nenhuma coleta!

À equipe do Parque Estadual Restinga de Bertiooga (PERB), pelo apoio ao trabalho e hospedagem na sede do parque.

À Aracy, responsável pelo local de embarque e desembarque (Porto Guaratuba), pelo apoio e por facilitar a logística de campo.

Ao Anderson, caiçara residente do Itaguaré, responsável pelo ponto de embarque e desembarque, e criador do Projeto Garra Ecológica, que mantém o local sempre bem preservado e muito limpo. Pela paixão pela natureza e compreensão da importância da ciência para a conservação do ambiente e da biodiversidade. E acima de tudo pela boa vontade de sempre, inclusive deixando sua própria embarcação à disposição dos pesquisadores.

À família que sempre me apoiou, respeitou e incentivou os caminhos que eu escolhi trilhar.

Às minhas famílias argentinas, alemãs e norte-americanas.

A Charles Darwin, como de costume.

À Deus e ao pessoal responsável pela limpeza da Plaza General Artigas, no Chuí (Uruguai).

"O professor se liga à eternidade. Ele nunca sabe quando cessa a sua influência".
(Henry Adams)

RESUMO

Estuários são ambientes heterogêneos, altamente complexos, e condicionados por diversos fatores ambientais. Nenhum estuário é igual a outro, e é esta diversidade que os torna tão importantes do ponto de vista da conservação. A grande quantidade de recursos naturais disponíveis nesses ambientes favorece o desenvolvimento de assentamentos urbanos nas suas margens, podendo comprometer o equilíbrio natural. A partir do conhecimento detalhado dos sistemas estuarinos é possível traçar metas assertivas para a conservação e gestão destes ambientes tão singulares. O presente estudo visa a caracterização e comparação dos estuários dos rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga, SP) quanto aos seus parâmetros geo-físico-químicos. A área de estudo está localizada na planície costeira da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista e inserida no Parque Estadual Restinga de Bertioga. Foram realizados levantamentos semestrais de batimetria e imageamento com sonar de varredura lateral, com o intuito de conhecer as profundidades e feições de fundo dos estuários, avaliando a dinâmica de processos erosivos e deposicionais. Medições mensais de salinidade, temperatura e turbidez foram realizadas ao longo de um ano, visando avaliar o comportamento sazonal da intrusão salina e da zona de máxima turbidez. Para verificar variações na granulometria, foram coletadas amostras de sedimentos nos mesmos pontos de medição das variáveis físico-químicas da água. Os resultados foram avaliados de forma integrada, utilizando técnicas de geoprocessamento e análise espacial, em conjunto com dados secundários de maregrafia e precipitação, analisando-se a influência de fatores meteoceanográficos na coluna d'água e na configuração do fundo ao longo desses ambientes. A comparação das batimetrias demonstrou que as regiões mais próximas da cabeceira de ambos estuários são influenciadas pela dinâmica fluvial, havendo erosão do fundo durante o inverno. Próximo à foz, o Itaguapé apresenta uma elevada dinâmica nos bancos de areia associada à ressacas. As feições de fundo apresentaram relação com a granulometria, e foi possível determinar regiões com sedimentos arenosos e areno-lamosos ao longo de ambos os estuários. A análise conjunta de dados de turbidez, granulometria e imageamento de fundo permitiram identificar a zona de máxima turbidez a cerca de 3,5 km da foz em ambos estuários. O estuário do rio Itaguapé é mais influenciado por eventos de ressaca, e o estuário do rio Guaratuba pela variação sazonal de precipitação na sub-bacia. O estuário do rio Itaguapé foi classificado como parcialmente misturado, ou de cunha salina (dependendo das condições), enquanto que o estuário do rio Guaratuba variou entre parcialmente misturado e bem misturado segundo a classificação de Pritchard (1955). Os dados de geomorfologia, batimetria e zonação dos estuários poderão subsidiar o gerenciamento e o uso sustentável destes locais, assim como avaliar o impacto de modificações nos parâmetros geo-físico-químicos ocasionadas por ações antrópicas em ambientes estuarinos.

Palavras chave: estuários, salinidade, estratificação, zona de máxima turbidez, batimetria, imageamento com sonar de varredura lateral, geoprocessamento.

ABSTRACT

Estuaries are highly complex heterogeneous environments, conditioned by different environmental factors. Every estuary has particular characteristics, and this diversity makes them so important for conservation. The great amount of available natural resources in these environments contributes to urban settlement developments on their surroundings, which may compromise their natural balance. Detailed knowledge of estuarine systems helps establish assertive goals for the conservation and management of these unique environments. This study aims to characterize and compare Itaguapé and Guaratuba estuaries (Bertioga, SP) regarding their geophysical-chemical characteristics. The study area is located on the Baixada Santista Basin's coastal plain, and inserted in the Restinga of Bertioga State Park. Biannual bathymetry and side scan sonar surveys were carried in order to evaluate erosive and depositional processes affecting depths and bottom features of the estuaries. Salinity, temperature and turbidity measurements were carried out monthly over a period of one year to evaluate seasonal behavior of saline intrusion and the estuarine turbidity maximum. Sediment samples were collected in order to verify granulometry variations. Results were evaluated in an integrated manner, using geoprocessing and spatial analysis techniques, coupled with secondary data of mareography and precipitation, analyzing the influence of meteoceanographic factors in the water column and the background configuration along these environments. Bathymetry analysis showed that regions close to estuaries heads (in both cases) are influenced by river dynamics, demonstrating bed erosion during winter. Near the mouth, the Itaguapé presents high dynamics of sand banks associated with storm surges caused by the strong oceanic winds. Bottom features were associated to granulometry, and it was possible to determine regions with sand and mud-sand sediments along both estuaries. The combined analysis of turbidity, granulometry and side scan imagery showed the estuarine turbidity maximum at about 3.5 km from the mouth of both estuaries. The Itaguapé River estuary is mainly influenced by storm surge events than the Guaratuba River estuary, which is more influenced by seasonal variation of precipitation in the watershed. Itaguapé estuary was classified as partially mixed, or salt wedge estuary (depending on the conditions), while Guaratuba ranged between partially mixed and well mixed estuary, according to Pritchard (1955) classification. The knowledge about geomorphological, bathymetric and estuarine zonation characteristics, contributes to sustainable management and use of these environments, and will help to estimate the impact of anthropogenic changes in geophysical-chemical parameters in estuaries.

Key-words: estuaries, salinity, stratification, estuarine turbidity maximum, bathymetry, side scan sonar imagery, geoprocessing.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AGEM** - Agência Metropolitana da Baixada Santista
- CLP** - Campus do Litoral Paulista (UNESP)
- NPH-UNISANTA** - Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas (UNISANTA)
- CEMADEN** - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
- CHM** - Centro de Hidrografia da Marinha
- CODESP** - Companhia Docas do Estado de São Paulo
- COTEC** - Comissão Técnico-Científica do Instituto Florestal
- CPTEC** - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
- EEAB** - Elevatória de Água Bruta (SABESP)
- EPSPG** - European Petroleum Survey Group (Grupo de Pesquisa Petrolífera Européia)
- GPS** - Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
- GUA** - Guaratuba
- IB-UNESP** - Instituto de Biociências (UNESP)
- ITA** - Itaguapé
- LEP** - Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia (UNESP)
- M.D.** – Margem direita
- M.E.** – Margem esquerda
- NTU** - Unidade Nefelométrica de Turbidez
- PERB** - Parque Estadual Restinga de Bertiooga
- PESM** - Parque Estadual da Serra do Mar
- SABESP** - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
- SIRGAS** - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- SONAR** - Sound Navigation and Ranging (Navegação e Determinação da Distância pelo Som)
- SP** - São Paulo (Estado)
- SPAT** - Sistema Produtor do Alto Tietê
- SVL** - Sonar de varredura lateral
- TIN** - Triangular Irregular Network (Interpolação triangular)
- UC** - Unidade de Conservação
- UNESP** - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
- UNISANTA** - Universidade Santa Cecília (Santos, SP)
- UGRHI** - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- UQ** - Unidades Geológico-Geomorfológicas Quaternárias (Souza, 2007)

UTC - Universal Time Coordinated - Tempo Universal Coordenado)

UTM - universal Transverso de Mercator

ZMT - Zona de Máxima Turbidez (ou ZTM - Zona de Turbidez Máxima)

ZC - Zona costeira

ZM - Zona de mistura

ZR - Zona de maré do rio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	19
3. ÁREA DE ESTUDO	20
Características gerais da área.....	20
Rio Itaguaré.....	22
Rio Guaratuba	26
4. MÉTODOS.....	29
4.1 Reconhecimento inicial da área de estudo.....	29
4.2. Estabelecimento dos pontos de coleta	29
4.3 Periodicidade das coletas.....	32
4.4 Maregrafia e precipitação	33
4.5 Batimetria e imageamento.....	35
Aquisição de dados.....	35
Interpretação das imagens de sonar de varredura lateral.....	38
Processamento dos dados de profundidade	39
Determinação do talvegue	40
4.6 Variáveis físico-químicas da água.....	41
4.7 Granulometria.....	44
4.8 Integração dos resultados	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 Maregrafia	47
5.2 Precipitação.....	53
5.3 Batimetria	56
Delimitação do talvegue	64
5.4 Imageamento com sonar de varredura lateral.....	67

5.5 Variáveis físico-químicas da água.....	69
Salinidade	69
Temperatura.....	77
Turbidez	80
5.6 Granulometria.....	85
5.7. Integração dos resultados	94
6. CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	100
APÊNDICE.....	107
Apêndice 1	107
Apêndice 2	108
Apêndice 3 - Plantas batimétricas em formato A3	109
Apêndice 4	114
ANEXOS.....	119
Anexo 1	119
Anexo 2.....	120
Anexo 3.....	121

1. INTRODUÇÃO

Estuários são ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, e apresentam uma grande heterogeneidade ambiental. Devido às suas características hidrodinâmicas, estes sistemas complexos são ambientes altamente produtivos, porém especialmente vulneráveis a ações antrópicas. Segundo Miranda *et al.* (2002), aproximadamente 60% das grandes cidades se desenvolvem ao redor de estuários, e como consequência, modificações nos processos de sedimentação e erosão, bem como na geomorfologia, descarga de água doce, correntes de maré e qualidade da água, afetam estes ambientes.

Nenhum estuário é igual a outro, e cada um possui características geológicas, físicas, químicas, e biológicas próprias. O conhecimento detalhado destas características e dos processos atuantes em cada estuário serve como base para a implementação de políticas de manejo e conservação destes ambientes. O cenário atual mostra que boa parte das planícies litorâneas da Baixada Santista já se apresenta alterada de alguma maneira (SOUZA, 1997), chamando atenção para a necessidade da implementação de políticas públicas que direcionem o uso sustentável dessas áreas. Uma das maneiras de assegurar a manutenção dos processos ecológicos e da biodiversidade para as futuras gerações consiste na criação de áreas protegidas, como as Unidades de Conservação (UCs) (Lei 9.985, BRASIL, 2000). Para uma correta elaboração dos seus planos de manejo, o conhecimento detalhado dos diferentes ambientes que as compõem faz-se necessário.

Do ponto de vista físico, estuários foram definidos por Pritchard (1967) como *“ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, onde rios encontram o mar, resultando na diluição mensurável da água salgada”*, caracterizando-se por ser ambientes com alto dinamismo, mudando constantemente em resposta a diversas forçantes naturais. Uma adaptação desta definição foi proposta por Dyer (1997):

“Estuário é um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre ao oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Estes ambientes apresentam uma grande heterogeneidade, tanto entre eles, como ao longo deles mesmos, sendo a distribuição da salinidade característica para

cada estuário. Assim, com base na definição de Dionne (1963), Kjerfve (1987) propõe uma definição que leva em conta fatores climáticos, hidrodinâmicos e de sedimentação que contribuem para a formação dos estuários e são responsáveis pelas características geomorfológicas e fisiográficas destes sistemas:

“Estuário é um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Tal conexão permanece aberta pelo menos intermitentemente. Esse ambiente pode ser subdividido em três zonas distintas: **zona de maré do rio (ZR)**: parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência da maré; **zona de mistura (ZM)**: região onde ocorre a mistura de água doce da drenagem continental com a água do mar; **zona costeira (ZC)**: região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina que delimita a Camada Limite Costeira”.

O limite superior da ZR, chamada também de estuário superior ou fluvial, encontra-se onde cessa a influência da maré (HARLEMAN, 1971) e é chamado de cabeceira. Na ZM ou estuário médio, onde a variação longitudinal e vertical de salinidade é acentuada pela diluição de massas de água fluvial e marinha, a configuração das isohalinas apresenta forma de cunha (cunha salina). Na ZC (estuário inferior ou marinho) está localizada a boca ou foz do estuário e é possível observar a formação de frentes, delimitadas pela presença de uma massa de água de origem oceânica na superfície. Os limites entre as zonas não são estáticos: sua posição varia ao longo do estuário como resposta às diversas forçantes do sistema (descarga fluvial, altura da maré, vento, etc), respondendo a diferentes escalas temporais, como ciclos da maré (enchente, vazante, sizígia, quadratura), variações sazonais (verão, outono, inverno, primavera), anuais (épocas de chuva e estiagem) e de longo período (por exemplo, fenômeno do *El Niño*).

Os estuários podem ser classificados pelas suas características geomorfológicas (PRITCHARD, 1952) ou de acordo com a estratificação vertical de salinidade na ZM (PRITCHARD, 1955). Segundo essa classificação, os estuários se dividem em três tipos:

Cunha salina (tipo A): típicos de regiões de micromaré e de lugares em que predominam condições de grande descarga fluvial, sendo dominados por esta e pelo processo de entranhamento, resultando no aumento de salinidade da camada superficial e sendo a mistura por difusão turbulenta desprezível. A cunha salina não se mantém estacionária, uma vez que busca o equilíbrio em resposta às variações da descarga fluvial e da maré (STOMMEL, 1953; GEYER, 1986). O movimento da

camada superficial estuário abaixo é contínuo, e a salinidade desta camada aumenta em direção à foz. Nestes estuários a circulação é dominada pela descarga fluvial.

Moderadamente ou parcialmente misturado (tipo B): apresentam gradientes verticais moderados de salinidade por meio da mistura, com energia de maré suficientemente elevada para produzir turbulência interna. Gera-se uma troca eficiente entre as águas do rio e a do mar e o movimento em camadas, superficiais e profundas, em sentidos opostos, transporta água do mar estuário acima nas camadas mais profundas. A variação quinzenal da maré entre as fases de quadratura e sizígia provoca, respectivamente, a intensificação e relaxamento da estratificação vertical de salinidade.

Verticalmente bem misturado (tipos C e D): São estuários cujas águas são bem misturadas, geralmente apresentam canais rasos e estreitos são forçados por descarga fluvial pequena, apresentando pequena estratificação vertical de salinidade, com fluxo vertical de salinidade desprezível e os processos de mistura ocorrem principalmente na direção longitudinal (DYER, 1973). A salinidade aumenta gradativamente estuário abaixo, e o transporte de sal estuário acima ocorre por difusão turbulenta, associada a irregularidades batimétricas e o atrito com o fundo. Desta maneira, a água do mar pode ficar aprisionada em reentrâncias durante os períodos de enchente, retornando ao canal principal durante a maré vazante.

Como exposto acima, a estratificação vertical da salinidade em um estuário pode apresentar grande variabilidade espaço-temporal, sendo que, para realizar a classificação devem ser utilizados dados estacionários. As correntes de maré de quadratura e sizígia podem variar significativamente, alterando a estratificação vertical e mudando o enquadramento do estuário segundo o critério de salinidade. As variações sazonais da descarga fluvial também alteram a estratificação vertical e a classificação do estuário (MIRANDA *et al.*, 2002).

Na maioria dos estuários é possível observar regiões onde a concentração de sedimentos na coluna d'água é máxima. Isso ocorre geralmente na transição entre a ZR e a ZM, onde a velocidade resultante dos movimentos convergentes da água doce e salgada é praticamente nula, aprisionando os sedimentos transportados. Essa região de transição é denominada *zona de máxima turbidez (ZMT)*, a concentração dos sedimentos em suspensão pode ser maior, em várias ordens de magnitude, quando comparada à água doce ou salgada adjacente. A sua posição no sistema

estuarino pode variar de acordo com a descarga fluvial e a altura e intensidade da maré (MIRANDA *et al.*, 2002), porém sua posição é menos variável que a posição da intrusão salina (POSTMA, 1980). Quando a vazão do rio é intensa, a ZMT é empurrada para a foz do estuário e diluída, uma vez que o sedimento é diretamente transportado para o mar. Quando a vazão do rio é baixa ou durante períodos de estiagem, o sedimento do fundo ressuspensionado pelas correntes de maré penetra mais a montante no estuário, e o máximo de turbidez se intensifica (WRIGHT *et al.*, 1999). Alguns estuários podem apresentar mais de uma ZMT, dado que, pela morfologia do fundo, água com altas concentrações de sedimentos pode ficar aprisionada nas depressões batimétricas (JAY *et al.*, 2015).

Dalrymple *et al.* (1992), propõem outra definição de estuário com base na geologia:

"Um estuário é um ambiente costeiro transgressivo na boca de um rio, que recebe sedimentos de fontes fluviais e marinhas, e que contém fácies influenciadas pela maré, ondas e processos fluviais. O estuário é considerado, em extensão, desde os limites das fácies de maré, estuário acima, na cabeceira, até os limites das fácies costeiras, estuário abaixo, na boca."

A ZMT atua como um filtro de sedimentos finos e material particulado de origem fluvial (SCHUBEL & CARTER, 1984) e tem alta relevância ecológica pois aprisiona nutrientes fundamentais para as teias alimentares estuarinas: evidencia altas taxas de produção primária e de interações entre os organismos que habitam nesse ambiente, funcionando como abrigo e berçário para diversas espécies animais (LINDÉN & JERNELOV, 1980, ODUM, 1959). São também locais de importantes transformações geoquímicas (NORTH & HOUDE, 2001; SIMENSTAD *et al.*, 1995), e podem se tornar reservatórios de contaminantes adsorvidos ao material particulado (SCHOELLHAMER *et al.*, 2007).

A posição da ZMT tem relação direta com a composição dos sedimentos nas diferentes porções do estuário. Nichols & Biggs (1985) propuseram um esquema de sequência de sedimentos ao longo de um estuário transgressivo. Segundo os autores, na ZR são encontrados sedimentos de maior tamanho, como grânulos e seixos, intercalados com matéria orgânica, areias mal selecionadas e lamas. Na ZM observam-se camadas de siltes e argilas intercalados com areias lamosas, e finalmente, na ZC encontram-se majoritariamente areias médias e finas bem selecionadas com padrões deposicionais em camadas pela ação das marés e ondas.

Em um estudo realizado em 2014, La Croix & Dashtgard constataram que os maiores volumes e espessuras das camadas de lama nos estuários se encontram na zona de máxima turbidez, decrescendo em ambas direções (sentido foz e cabeceira) (VENDITTI *et al.*, 2010).

Neste sentido, a investigação dos parâmetros geo-físico-químicos e granulométricos de um estuário permite avaliar o comportamento sazonal e a influência da intrusão salina nestes corpos d'água, e em conjunto com o levantamento de dados geofísicos utilizando métodos acústicos, serve como base para a caracterização destes ambientes e compreensão dos diversos processos atuantes no sistema (SOUZA, 2006).

Os resultados obtidos por meio estudos detalhados nos estuários são subsídios para a elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação, e consequentemente fornecem um melhor embasamento ao gerenciamento costeiro da região.

Durante a campanha 5, bem como nos 5 dias anteriores, foi registrada precipitação de 44mm, sendo que a altura da maré medida coincidiu com a previsão. O estuário apresentou estratificação vertical, com valores de salinidade variando entre 0 e 17, sendo que nas regiões mais profundas de ITA4 e ITA6, foi observada estratificação com gradientes de salinidade até 30.

No dia da coleta da campanha 6 e nos dois dias anteriores, foi registrada precipitação intensa (aprox. 110mm acumulados, correspondendo a 30% da precipitação total do mês), que ficou evidenciada na salinidade homogênea e nula ao longo de todo o estuário por conta da intensa vazão do rio. Vale ressaltar que no início desta coleta observou-se que, apesar da situação de maré enchente, o escoamento de água superficial ocorria em direção à desembocadura, e a água apresentava coloração avermelhada, diferente do observado nas demais campanhas, onde a coloração da água apresentou tons esverdeados. Unicamente, foram registrados valores com maiores salinidades nos pontos mais profundos de ITA4 e ITA 6, provavelmente devido ao aprisionamento de água salgada nestas depressões batimétricas.

Entre os meses de fevereiro e abril de 2017 (campanhas 7 a 9) a diferença de salinidade (valores de 0 a 33) ao longo do estuário intensificou a estratificação vertical e a entrada da cunha salina. Nessas campanhas, a maré medida esteve acima da prevista, e houve chuvas intensas no período, com exceção da campanha 7, onde a precipitação mensal foi de aproximadamente 70mm, porém 25% ocorreu nos dois dias anteriores à coleta. Contudo, no mês de fevereiro, observou-se a maior penetração e quantidade de água salgada ($S > 30$) no estuário.

Durante a campanha 10 a estratificação vertical foi intensa, observando-se uma camada superficial de água doce de aproximadamente 2m ao longo de todos os pontos de coleta. Durante essa campanha não houve diferença entre as marés medida e prevista, e houve concentração das precipitações do mês na semana prévia à coleta. Abaixo dos 3m, a massa de água salgada observada entre os pontos ITA2 e ITA4 diluiu-se nos pontos mais à montante, sendo que nas áreas mais profundas dos pontos ITA9 e ITA11 os valores de salinidade foram maiores, sugerindo um aprisionamento de água salgada nesses locais.

A campanha 11 apresenta um padrão similar à campanha 2, com valores de salinidade variando entre 0,5 a 28, com valores de salinidade maiores nas depressões

6. CONCLUSÕES

Os estuários dos rios Itaguapé e Guaratuba apresentam diferentes padrões de estratificação da salinidade. Segundo a classificação de Pritchard (1955), o estuário do rio Itaguapé pode ser classificado como do tipo B (parcialmente misturado) ou tipo A (cunha salina) dependendo das condições meteoceanográficas durante os períodos de sizígia. O estuário do rio Guaratuba pode ser classificado como do tipo B ou tipo C (verticalmente bem misturado).

Em ambos os estuários, situações de ressaca favoreceram o aumento do grau de mistura, enquanto que precipitações aumentaram a tendência de estratificação.

No estuário do rio Itaguapé, a intrusão salina durante a preamar de sizígia é percebida até cerca de 7km da foz, em situações normais, tendo em vista que durante períodos de ressaca nos meses de inverno a salinidade ultrapassa o limite navegável do estuário.

No estuário do rio Guaratuba, a intrusão foi registrada até aproximadamente 7km da foz, em situações normais, tendo em vista que durante períodos de ressaca penetra até 8km da foz.

As medições de temperatura nos estuários seguem os padrões sazonais esperados para essa latitude.

No que tange às medições de turbidez da água, observa-se que, durante as preamares de sizígia, o máximo de turbidez encontra-se a 3,5km de distância da foz em ambos os estuários.

A comparação das batimetrias realizadas nas estações de verão e inverno indicam que, após o inverno o estuário do rio Itaguapé apresenta perdas de profundidade na região próxima à foz, sugerindo maior movimentação de bancos de areia neste trecho. Em ambos os estuários, os resultados mostram um aumento da profundidade na região próxima a ZR, o que pode estar associado ao carreamento dos sedimentos depositados pela drenagem continental durante os meses de verão, o que condiz com este tipo de ambientes transgressivos.

O talvegue do rio Itaguapé apresentou posição mais centralizada com relação ao eixo central do rio, enquanto que no rio Guaratuba o talvegue apresenta-se

deslocado na direção das margens erosivas, demonstrando uma posição mais centralizada somente no rio Vermelho.

O imageamento com sonar de varredura lateral em ambos os estuários demonstrou ondulações no fundo associadas a sedimentos arenosos, tanto na região próxima à foz quanto próximo às ZR. A região com textura mais homogênea e menor retorno acústico foi observada entre a faixa da ZMT e os 2km à montante e à jusante deste limite, indicando a presença de sedimentos finos, e corroborando com a posição encontrada para a ZMT.

No estuário do rio Itaguapé, as amostras de sedimento demonstram que na região próxima à foz ocorre predomínio de frações de areia fina e muito fina, bem selecionadas, enquanto que próximo à ZR o sedimento apresenta menor grau de seleção e predomínio de frações de areia média, grossa, muito grossa, além de grânulos. O rio Perequê-Mirim apresenta maior concentração de sedimentos finos em comparação ao trecho de cabeceira do rio Itaguapé.

No estuário do rio Guaratuba, a granulometria indicou predomínio de frações de areia fina e muito fina, bem selecionadas na foz, enquanto que na ZR o sedimento apresenta menor grau de seleção, e predomínio de frações de areia média, grossa, muito grossa, além de grânulos no trecho de cabeceira do rio Guaratuba. Observa-se que o rio Vermelho apresenta maior concentração de sedimentos finos em comparação ao trecho de cabeceira do rio Guaratuba.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, observa-se em ambos os estuários uma setorização bem demarcada, abrangendo os alcances da intrusão salina, textura de fundo e granulometria. De maneira semelhante às classificações realizadas durante o zoneamento de uma determinada região, a zonação descrita para estes estuários serve como ferramenta para a proposição de usos específicos destes locais. A definição da posição da ZMT torna-se importante quanto à possível retenção de contaminantes no sedimento, que poderia ocorrer com o lançamento de efluentes nos estuários, principalmente no Guaratuba.

Este trabalho traz informações inéditas sobre a integração da geomorfologia, batimetria e zonação dos estuários dos rios Itaguapé e Guaratuba, podendo subsidiar futuros trabalhos de modelagem, bem como nortear o uso sustentável destes locais no que tange ao gerenciamento costeiro.

A comparação destes resultados com os resultados de estudos futuros permitirá avaliar o impacto de possíveis modificações nos parâmetros geo-físico-químicos ocasionadas por ações antrópicas nos rios que drenam suas águas para os estuários.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABIB. M. C. S., **Estudo da morfodinâmica da Praia de Itaguapé, Bertioga – SP entre outubro de 2009 e junho de 2011**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Campus Experimental do Litoral Paulista. Universidade Estadual Paulista, 2011. 51 p.
- ALBERTI, M.; LALOUX, M.; ZANIERI, M., Tools for structural geology analysis in QGIS. **Società geologica Italiana**, v. 39, p. 55, 2016.
- BANZATO, B. D. M., FAVERO, J., AROUCA, J., & CARBONARI, J., Análise ambiental de unidades de conservação através dos métodos SWOT e GUT: O caso do Parque Estadual Restinga de Bertioga. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 38-49, 2012.
- BARALDO K. B., **Batimetria de detalhe e registros de sonar de varredura lateral do Rio Itaguapé, Bertioga, SP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Campus Experimental do Litoral Paulista, Universidade Estadual Paulista, São Vicente (SP), 2011.41 p.
- BRASIL. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>
- BUSCOMBE, D., Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar. **Environmental Modelling & Software**, v. 89, p. 1-18, 2017.
- CAPEL. K. C. C., **Estudo morfodinâmico da praia de Itaguapé, Bertioga-SP entre fevereiro e setembro de 2009**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Campus Experimental do Litoral Paulista, Universidade Estadual Paulista, São Vicente, 2009. 49 p.
- CASTRO FILHO, B. M. de; MIRANDA, L. B.; MIYAO, S. Y., Hydrographic conditions on the continental shelf off Ubatuba: seasonal and meso-scale variability. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 35, n. 2, p. 135-151, 1987.
- CASTRO, B. D., LORENZZETTI, J. A., SILVEIRA, I. D., & MIRANDA, L. D., **Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) eo Chuí (RS)**.

In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B & MADUREIRA, L. S. P., (org.) O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. EDUSP, São Paulo, p. 11-120, 2006.

DALRYMPLE, R. W., ZAITLIN, B. A.; & BOYD, R., A conceptual model of estuarine sedimentation. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 62, p. 1130-1146, 1992.

DAVIES, J. L., A Morphogenic Approach to World Shorelines. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 8, p. 127-142, 1964.

DIONNE, J. C., Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 7, p. 36-44, 1963.

DYER, K. R., **Estuaries: A Physical Introduction**, 2 ed., Chichester, Wiley, 1997. 195 p.

FISH, J. P. & CARR, H. A., **Sound underwater images: a guide to the generation and interpretation of side scan sonar data**. Lower Cape Pub Co, 1990.

FISH, J. P. & CARR, H. A., **Sound reflections: advanced applications of side scan sonar**. Lower Cape Pub., 2001.

GEYER, W. R., The advance of a salt wedge front: Observations and dynamical model. *In*: **Physical processes in estuaries**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1986. p. 181-195.

GIRARDI, A. C. S.; SANTOS, R. F. & MANTOVANI, W., Subsídios metodológicos para o planejamento e gestão de restingas: estudo de caso - Bertioga, SP. *In*: MANTOVANI, W. (Org.) **Caminhos de uma ciência ambiental**. São Paulo: Annablume, 2005. p. 321-344

HARLEMAN, D. R. F., One Dimensional Models. *In*: WARD, Jr. G. H. & ESPEY, Jr. W. H.(Org). Estuarine Modelling: An Assessment : Capabilities and Limitations for Resource Management and Pollution Control. Austin, Tracor, 1971. p. 54.

HORIBA, Multi Water Quality Checker - U-50 Series - Instruction Manual - CODE:GZ0000144342C. 2009. Disponível em <<http://www.horiba.com>>

HUMMINBIRD, Hummibird 1197c SI Combo - Installation and operations manual. Eufala, Alabama. 2009. Disponível em <<https://www.humminbird.com>>

- JAY, D, TALKE, S. A., HUDSON, A., & TWARDOWSKI, M., Estuarine turbidity maxima revisited: Instrumental approaches, remote sensing, modeling studies, and new directions. *In: Developments in Sedimentology*. Elsevier, 2015. p. 49-109.
- JOHANSEN, M., HumViewer v. 67 - Viewer of Humminbird sonar recording files. 2010. Disponível em <<http://humviewer.cm-johansen.dk/>>
- KAESER, A. J. & LITTS, T. L., An assessment of deadhead logs and large woody debris using side scan sonar and field surveys in streams of southwest Georgia. **Fisheries**, v. 33, n. 12, p. 589-597, 2008.
- KAESER, A. J. & LITTS, T. L., A novel technique for mapping habitat in navigable streams using low-cost side scan sonar. **Fisheries** 35:163-174, 2010
- KAESER, A. J. & LITTS, T. L., **Sonar imagery geoprocessing workbook**. Georgia Department of Natural Resources, Social Circle, Georgia, USA, 2011. Disponível em: <https://www.fws.gov/panamacity/resources/Sonar_Imagery_Geoprocessing_Workbook_v2_1.pdf>
- KAESER, A. J. & LITTS, T. L., **An illustrated guide to low-cost, side scan sonar habitat mapping**. U.S. Fish and Wildlife Service, Panama City, Florida, USA, 2013. Disponível em <<https://www.fws.gov/panamacity/sonartools.html>>
- KJERFVE, B., Estuarine geomorphology and physical oceanography. *In: DAY, Jr., J. W., HALL, C. H. A. S., KEMP, W. M. & YÁÑES-ARANCIBA, A. (Org). Estuarine ecology*. New York, Wiley, 1987. P 50.
- KÖPPEN, W. & GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. **Wall-map 150cmx200cm**, 1928.
- LA CROIX, A. D.; DASHTGARD, S. E. Of sand and mud: Sedimentological criteria for identifying the turbidity maximum zone in a tidally influenced river. **Sedimentology**, v. 61, n. 7, p. 1961-1981, 2014.
- LINDÉN, O. & JERNELÖV, A., The mangrove swamp: an ecosystem in danger. **Ambio**, v.9, n.2, p.81-88. 1980.
- MIRANDA, L. B.; KJERFVE, B. & CASTRO, B. M., **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Edusp, 2002.

NICHOLS, M.M. & BIGGS, R.B., Estuaries. *In*: Davis, R.A. (Ed.), **Coastal Sedimentary Environments**, Springer, New York, NY. 1985. pp. 77-186.

NORTH, E. W.; HOUDE, E. D., Retention of white perch and striped bass larvae: biological-physical interactions in Chesapeake Bay estuarine turbidity maximum. **Estuaries and Coasts**, v. 24, n. 5, p. 756-769, 2001.

NORWOOD, M., **SIView** v. 1.0.0.6. 2010. Disponível em: <<http://www.mnorwood.com/SIView/>>

NPH-UNISANTA. Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas da UNISANTA. **Boletim Informativo - 29/10/2016**. 2016. Disponível em <<http://noticias.unisanta.br/nph/mare-supera-valores-historicos-nessa-madrugada-e-ainda-ha-previsao-de-mare-elevada-e-ondas-intensas-para-a-tarde-de-hoje-informa-o-nph-unisanta>>

ODUM, E.P., **Fundamentals of ecology**. 2nd edition, Philadelphia Saunders 1959. p 546.

PAOLO, F. S. & MAHIQUES, M. M., Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 2, p. 211-225, 2008.

PELIN, P., **DrDepthPC** v. 5.0 - Sea bottom mapping software. User Manual. Göteborg, Sweden. 2012. Disponível em <[www.drdepth.se, http://mob.drdepth2.se/nomadhelp.php](http://www.drdepth.se,http://mob.drdepth2.se/nomadhelp.php)>

POSTMA, H., Sediment Transport and Sedimentation. *In*: OLAUSSON, E, & CATO, **Chemistry and biogeochemistry of estuaries**. New York, Wiley, 1980.

PRITCHARD, D. W., Estuarine hydrography. *In*: **Advances in geophysics**. Elsevier, 1952. p. 243-280.

PRITCHARD, D. W., Estuarine Circulations Patterns. **Proceedings of the American Society of Civil Engineers** 81, no 717, 1 – 11. 1955.

PRITCHARD, D. W., Observations of circulation in coastalplain estuaries. *In*: **Lauff GH (ed) Estuaries**. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 1967.

QGIS Development Team, QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2013. <http://www.qgis.org/>

ROSÁRIO, G. V., **Parâmetros geo-físico-químicos do Rio Itaguapé, Bertioga-SP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Campus Experimental do Litoral Paulista. Universidade Estadual Paulista, 2010. 46p.

SABESP, CHES - Crise Hídrica – Estratégia e Soluções da SABESP para a região Metropolitana de São Paulo. São Paulo – Brasil. Relatório Técnico. 2015, 95 p. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/ches_crise_hidrica.pdf> Acesso em: 7 de junho de 2018.

SANT'ANNA NETO, J. L., As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. **São Paulo: USP/FFLCH**, 1995.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº. 56.500/2010. Cria o Parque Estadual Restinga de Bertioga e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2010/decreto-56500-09.12.2010.html>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2016.

SCHOELLHAMER, D. H.; MUMLEY, T. E.; LEATHERBARROW, J. E., Suspended sediment and sediment-associated contaminants in San Francisco Bay. **Environmental Research**, v. 105, n. 1, p. 119-131, 2007.

SCHUBEL, J.R., CARTER, H.H., Estuary as a filter for fine-grained suspended sediment. In: KENNEDY, V.S. (Org.), **The Estuary as a Filter**. Academic Press, Orlando, FL, 1984. p. 81–105.

SIMENSTAD, C. A.; JAY, D. A.; SHERWOOD, C. R., Impacts of watershed management on land-margin ecosystems: The Columbia River estuary. *In: Watershed Management*. Springer, New York, NY, 1992. p. 266-306.

SOUZA, C. R. G., Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertioga (SP). *In: 11 Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA*. Belem, PA. 2007. Anais de congresso. Disponível em <http://www.abequa.org.br/trabalhos/2007_celia_oral2_quatcost.pdf> Acesso em: 5 de junho de 2018.

SOUZA, C. R. G., **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. 1997. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. doi:10.11606/T.44.1997.tde-10042015-161455. Acesso em: 5 de junho de 2018.

SOUZA, C. R. G; MOREIRA, M. G. & LOPES, E. A., Coastal plain and low-medium slope sub-biomes: a new approach based on studies developed in Bertioga (SP). **Brazilian Journal of Ecology** n.13, 2009. p. 1-13

SOUZA, L. A.P., **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. 2006. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/T.21.2006.tde-30102006-171206. Acesso em: 5 de junho de 2018.

STOMMEL, H., The Role of Density Currents in Estuaries. **Minnesota International Hydraulic Convention**, Minneapolis, 1951.

SUGIUTI, T. H., **Monitoramento do leque de sobrelavagem na praia de Itaguapé, SP, e o impacto na vegetação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas – Habilitação em Gerenciamento Costeiro) – Campus do Litoral Paulista, Universidade Estadual Paulista, São Vicente (SP), 2017.p. 69

TESSLER, M. G. & SOUZA, L. A. P., Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 1, p. 69-83, 1998.

VENDITTI, J. G., HUMPHRIES, R. P., ALLISON, M. A., NITTROUER, J. A., & CHURCH, M., Morphology and dynamics of a gravel-sand transition. *In: Proceedings of the 9th Federal Interagency Sedimentation Conference*. 2010. p. 11.

VERONEZ-JÚNIOR, P.; BASTOS, A. C., PIZZIN, B. F., GAVA, R. D., QUARESMA, V. D. S., & SILVA, C. G., Sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicados no estudo de ecofácies na baía de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 3, p. 411-425, 2009.

VM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. EPP., Plano de Bacia Hidrográfica 2016-2027 do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista. Vol. I - Diagnóstico. 2016. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBHBS/11800/2016-10-19-diagnostico-final.pdf>>

WENTWORTH, C. K., A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The journal of geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

WILHELM, F. & REAMS, E., Standard Operating Procedure for Bathymetric Mapping with Humminbird 365i and Dr. Depth Software: Moscow, Idaho. 2012.

WRIGHT, J.; COLLING, A.; PARK, D., (Org.). **Waves, tides, and shallow-water processes.** Gulf Professional Publishing, p. 149-176.1999.