

# Tropical Oceanography

## Revista on line

Recife	vol. 44	n. 2	74 - 88	2016
C.D.U. 551.46:57(26) CDD. 551.4605 ISSN: 1679-3013 D.O.I: 10.5914/2016.0126				

### EVOLUÇÃO SEDIMENTAR DO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE (RECIFE-PE) NOS ÚLTIMOS 200 ANOS E SUAS RELAÇÕES COM A ATIVIDADE ANTRÓPICA E PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

Diego de Arruda XAVIER<sup>1</sup>  
Roberto Lima BARCELLOS<sup>1</sup>  
Rubens César Lopes FIGUEIRA<sup>2</sup>  
Carlos Augusto França SCHETTINI<sup>1</sup>

#### RESUMO

O estudo tem como objetivo descrever a evolução sedimentar no baixo estuário do Rio Capibaribe associando com as modificações antrópicas ocorridas nos últimos 200 anos por meio das análises de <sup>210</sup>Pb, granulométricas, MOT e carbonato de cálcio. O testemunho registrou três unidades sedimentares com características distintas. A primeira (72-158 cm) apresentou características sedimentares de planície de maré, influenciadas por manguezais com pouca influência das ações antrópicas. A segunda (20-72 cm) registrou o início das

construções de melhora-mento do Porto do Recife, com altas porcentagens de sedimentos arenosos e baixas porcentagens de sedimentos finos e MOT. A terceira unidade (0-20 cm) apresentou a influência antrópica no sistema estuarino, com alta deposição de sedimentos finos e MOT possivelmente de origem antrópica. Picos de sedimento finos e MOT foram registrados (4, 16 e 72 cm) reportando provavelmente eventos climáticos associados aos registros de chuvas intensas e cheias ocorridos no Estuário do rio Capibaribe.

**Palavras-chaves:** granulometria; carbonato de cálcio; matéria orgânica total; rio Capibaribe; mudanças antrópicas.

#### ABSTRACT

The study aims to describe the sedimentary evolution in lower Capibaribe Estuary associated with anthropogenic changes occurred the last 200 years through <sup>210</sup>Pb, grain size, TOM and calcium carbonate analyses. The core registered three sedimentary units with different characteristics. The first unit (72-158 cm) presents tidal plain anthropic influence in the estuarine system, with higher sedimentation of fine sediments and TOM possibly of anthropic source.

sedimentary characteristics influenced by mangrove and it was presented smaller anthropic influence. The second unit (20-72 cm) records the beginning of the Port of Recife construction, with increasing sandy fraction percentages decreasing muds. The third unit (0-20 cm) shows the

Fine sediments and TOM peaks were registered (4, 16 and 72 cm) probably reporting climatic events associated with

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Oceanografia. Laboratório de Oceanografia Geológica. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária - Recife - PE. CEP: 50740-901. <sup>2</sup>Universidade de São Paulo. Instituto de Oceanografia. Praça do Oceanográfico, 191 - São Paulo - SP. CEP: 05508-120.

\*[diego.a.xavier@gmail.com](mailto:diego.a.xavier@gmail.com); [roberto.barcellos@ufpe.br](mailto:roberto.barcellos@ufpe.br); [rfigueira@usp.br](mailto:rfigueira@usp.br); [guto.schettini@gmail.com](mailto:guto.schettini@gmail.com)

the intensification of rainfall and floods | occurred in the Capibaribe Estuary.

**Keywords:** grain size, calcium carbonate, total organic matter, Capibaribe River, anthropic changes.

## INTRODUÇÃO

Estuários são encontrados ao longo de linhas de costa ao redor do mundo independente da formação geológica, regime energético hidrodinâmico ou de ambiente deposicional. Estes representam um dos sítios de sedimentação mais dinâmicos da Terra por representarem a transição os ambientes terrestres e marinhos, e evoluir em respostas a interações de processos fluviais, costeiros e marinhos (PERILLO, 1995; ELLIOT; MACLUSCKY, 2002; FITZGERALD; KNIGHT, 2005). Estuários são ambientes sedimentares heterogêneos e estão sujeitos a mudanças intrínsecas entre essas interações sobre diferentes escalas de tempo e espaço (UNCLES, 2002; FITZGERALD; KNIGHT, 2005).

A evolução sedimentar em ambientes estuarinos é consequência das interações entre processos costeiros e marinhos. Suas camadas podem registrar o tipo de sedimento (origem fluvial ou marinha) e o transporte (correntes fluviais, marinhas ou costeiras) atuante no período de sedimentação. As correntes transportam sedimentos para os sistemas estuarinos pela ação dos rios, marés e correntes de deriva litorânea. Erosão de rochas presentes no estuário superior ou presença de material biogênico indicam o padrão sedimentar e a situação climática da região. Entretanto, a distribuição de sedimentos é extremamente variável e é reflexo das condições hidrodinâmicas e dos processos de transporte (PERILLO, 1995). Efeitos das atividades antrópicas afetam a morfologia de fundo e a distribuição de sedimentos em estuários.

O estudo de colunas sedimentares rasas pode fornecer registros históricos de diversas influências sobre os sistemas costeiros, indicando tanto o nível de base natural, como modificações antrópicas ocorridas nestes ambientes ao longo dos anos (BUCKLEY et al., 1995; LI et al., 2000). Os parâmetros sedimentológicos, a matéria orgânica sedimentar e as porcentagens de carbonato de cálcio em ambientes de sedimentação costeira fornecem muitas informações importantes na reconstituição paleoambiental global e regional de mudanças climáticas (MEYERS, 1997). Além destes, o uso de traçadores radionuclídeos em ambientes sedimentares oferecem dados consistentes para determinar a fonte do sedimento e as taxas de sedimentação da bacia de drenagem (WANDERLEY et al., 2014).

Os ambientes estuarinos são de profundo interesse para população humana, dados seus interesses biológicos e econômicos. Impactos antrópicos modificam o equilíbrio ambiental natural de várias maneiras como o desenvolvimento urbano, a agricultura e as mudanças hidrológicas que causam alterações na composição sedimentar e na introdução de poluentes (ZOURARAH et al., 2007; TRAINI et al., 2015). Estas interferências antrópicas são registradas durante os processos de sedimentação nos ambientes costeiros (JHA et al., 2003; SWARZENSKI et al., 2008, DÍAZ-ASENCIO et al., 2009).

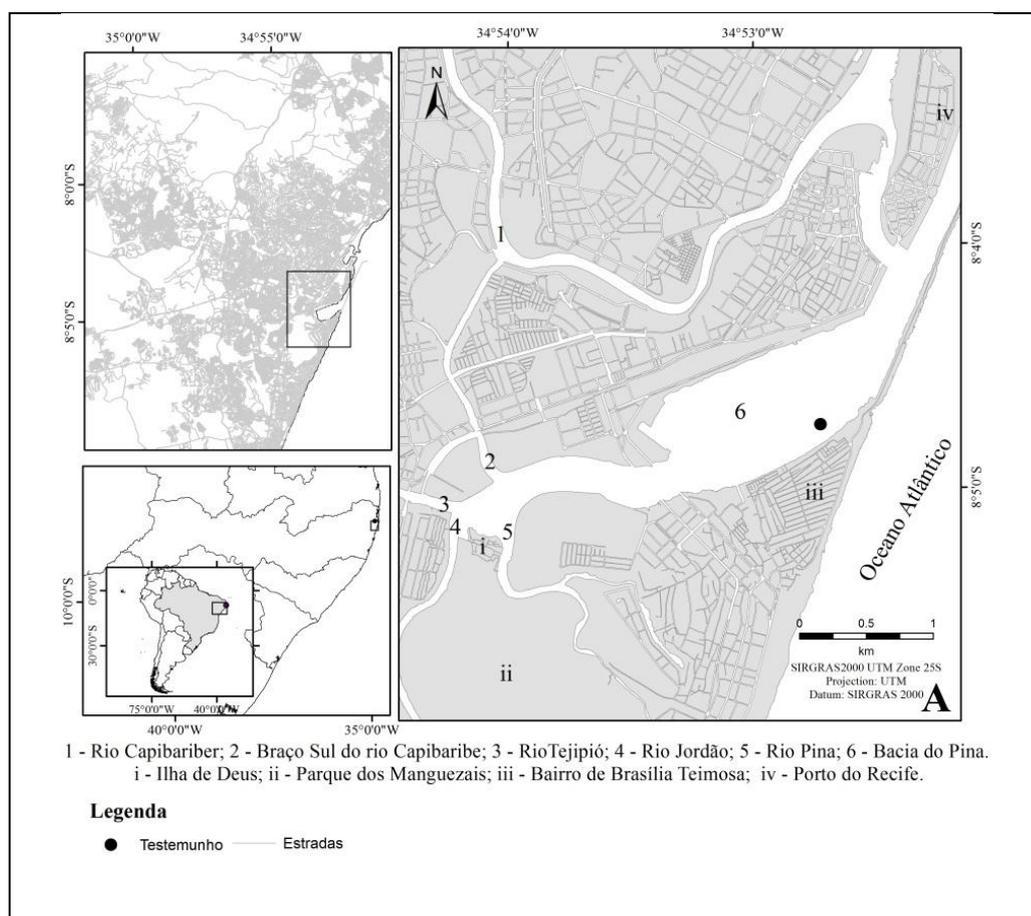
Além da granulometria, conteúdos de matéria orgânica sedimentar, porcentagem de carbonato de cálcio e taxa de sedimentação, outros parâmetros são utilizados para compreender a evolução em ambientes costeiros entre eles podemos citar a utilização de mapas históricos, uso de métodos sísmicos, análises de metais pesados, quantificação de argilominerais entre outros parâmetros (MARTINS et al., 2007; ZHANG et al., 2007; WATSON et al., 2013).

O estuário do rio Capibaribe, que corta a cidade do Recife, vem registrando modificações antrópicas no espaço físico como aterramento de áreas alagadas, desmatamento dos manguezais, abertura de canais e entre outros desde o início da sua

colonização (PONTUAL, 2001). Atualmente esse estuário está susceptível a outras ações antrópicas que modificam o padrão sedimentar como carcinicultura, despejos de dejetos urbanos e industriais e dragagem. Com essa premissa, o estudo tem como objetivo descrever a evolução sedimentar ocorrido no baixo estuário do rio Capibaribe durante os últimos 200 anos, buscando correlacionar esses parâmetros analisados (granulometria, matéria orgânica total e carbonato de cálcio) com as possíveis modificações antrópicas que ocorreram no sistema estuarino.

## ÁREA ESTUDADA

O estuário do rio Capibaribe está situado na zona urbana da cidade de Recife-PE ( $8^{\circ}03'S/34^{\circ}55'W$ ), formado pela confluência dos rios Capibaribe, Tejipió, Jiquiá, Jordão e Pina apresentando grande importância ecológica (serve como área de reprodução para mamíferos, pássaros, peixes e outros organismos), econômica e social para a Região Metropolitana do Recife (RMR) (MACÊDO et al., 2007) (Fig. 1).



**Figura 1** - Mapa de localização do baixo estuário do rio Capibaribe. A) Localização do testemunho recuperado.

O rio Capibaribe é caracterizado como um rio translitorâneo e apresenta 250 km de extensão da nascente, na serra da Jacarará, até a desembocadura passando por 43 cidades (OLIVEIRA et al., 2014, AQUINO et al., 2014). Sua bacia hidrográfica possui aproximadamente 7.600 km<sup>2</sup> de área de drenagem e está inserida totalmente no estado de Pernambuco. Encontra-se sobre o cristalino, com ocorrência de unidades sedimentares (Terciário e Quaternário) restritas ao seu baixo curso. O embasamento cristalino limita-se em subsuperfície, com as bacias sedimentares marginais de Pernambuco e da Paraíba no município do Recife-PE. Em seu baixo curso, próximo à RMR, ocorre a Formação Barreiras, de idade Terciária, representada por coberturas sedimentares dispersas, que cobrem indistintamente o embasamento cristalino e as bacias sedimentares marginais. Esta Formação apresenta pacote de sedimentos de

origem fluvial com predomínio de fácies arenosas intercaladas às camadas argilosas e siltosas de depósitos de baixa energia (SRHE, 2010). O Quaternário ocorre nas baixadas da planície costeira, apresentando depósitos estuarinos e marinhos localizados na planície costeira e sedimentos fluviais nas calhas dos rios (SRHE, 2010).

A RMR é classificada quanto à climatologia como tropical quente e úmido (As') (KÖPPEN, 1948), com períodos de maior pluviosidade entre março a agosto e de estiagem entre setembro a fevereiro, com média pluviométrica de 2.200 mm.ano<sup>-1</sup> e temperatura média anual de 25,2°C (INMET 2015).

O estuário do rio Capibaribe abriga aproximadamente 3,7 milhões habitantes apenas na Região Metropolitana de Recife. Deste montante cerca de 1,5 milhões vivem na capital pernambucana e aproximadamente 235 mil habitantes vivem no baixo estuário do rio Capibaribe. A cidade do Recife apresenta uma densidade demográfica de aproximadamente 7.000 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Apesar da intensa urbanização, o rio Capibaribe registra pequenos e degradados manguezais.

A área interna da Bacia do Pina, nas margens do rio Pina e Jordão, apresenta uma extensa área, aproximadamente 20 km<sup>2</sup> de manguezal menos degradada, denominada Parque dos Manguezais, composta pelas espécies *Rizhophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana*. Apesar da grande importância ambiental, esta área vem sofrendo impactos ambientais com a intensa pressão pela especulação imobiliária, poluição e ocupação desordenada (SILVA et al., 2010).

Oliveira et al. (2014) observaram para o estuário do rio Capibaribe uma distribuição espacial de sedimentos superficiais variando de granulação silte a areia cascalhosa, e registro de zonas de sedimentação para o sistema estuarino. Uma zona com predominância de sedimentos pelíticos de origem fluvial na maioria do sistema estuarino e outra com sedimentos arenosos localizados principalmente no baixo estuário, reflexos da alta hidrodinâmica marinha. Oliveira (2014) comparou a distribuição sedimentar superficial em dois períodos climáticos diferentes (verão e inverno), observando a existência de uma predominância de sedimentos siltosos na maioria do sistema estuarino, sendo registrado um aumento nas porcentagens de lama do período seco para o chuvoso.

## MATERIAL E METODOS

Um testemunho de 158 cm foi recuperado em novembro de 2012, pelo método de *push-core*, no baixo estuário do estuário do rio Capibaribe, localizado especificamente na Bacia do Pina (8°04'24"S e 34°52'44"W) (ver Fig. 1).

O testemunho foi seccionado longitudinalmente, descrito, sub-amostrado (intervalos de 2 cm) e secos em estufa a 50° C. Os valores da porcentagem de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e matéria orgânica total (MOT) seguiram às metodologias propostas por Carver (1971), que consistem na diferença de peso seco após ataque com ácido clorídrico (HCl, 10%) para a eliminação de fragmentos carbonáticos e com peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 10%) para eliminação da matéria orgânica.

Após a descarbonatação e eliminação da matéria orgânica, as análises granulométricas foram realizadas com o auxílio do granulômetro Malvern Mastersizer 2000. Os dados obtidos passaram por tratamento estatístico proposto por Folk e Ward (1957) e Shepard (1954), através do *software* Sysgran 3.0 (CAMARGO, 2006).

Para a obtenção da taxa de sedimentação, o testemunho foi analisado em intervalo de 2 cm até 40 cm, após 40 cm, em intervalos de 10 cm até a base do testemunho. O valor da taxa de sedimentação obedeceu à metodologia de determinação de radionuclídeo <sup>210</sup>Pb descrito por Saito et al. (2001), que é baseada no princípio do decaimento da meia-vida do <sup>210</sup>Pb (t<sub>1/2</sub> = 22,3 anos) (PATCHINEELAM; SMOAK 1999). O valor da taxa de sedimentação foi calculado pelo modelo CIC (*Constant Initial*

*Concentration*) proposto por Appleby e Oldfield (1992). O limite da taxa de sedimentação seguiu o proposto por Figueira et al. (1998) o qual considera até 200 anos.

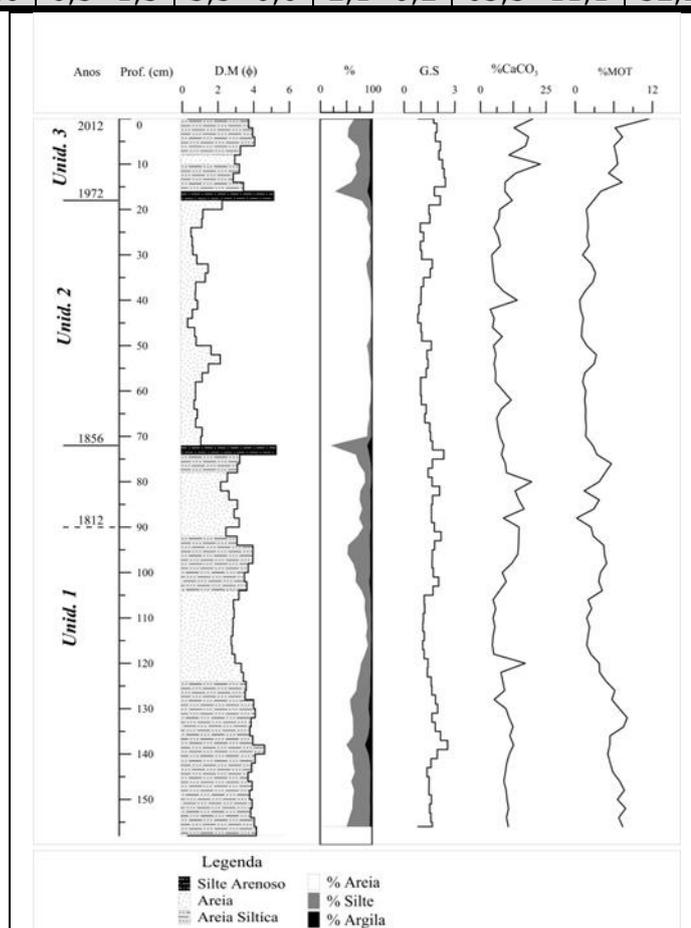
## RESULTADOS

O testemunho apresentou taxa de sedimentação ( $^{210}\text{Pb}$ ) de  $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$  com limite de detecção em 90 cm de profundidade, referindo-se ao ano de 1812.

O testemunho apresentou três unidades com características sedimentares e geoquímicas distintas (Tabela 1). Da base para o topo, a unidade 1 compreende de 72 até 158 cm, entre 1856 e um período anterior ao limite de detecção do  $^{210}\text{Pb}$ . A unidade 2 compreende de 18 a 72 cm, referente ao período entre 1972 a 1856. Por fim, unidade 3 compreende os primeiros 18 cm do testemunho, com período de 2012 até 1972.E (Fig. 2).

**Tabela 1** - Valores médios e desvio padrão das três unidades registradas para o testemunho localizado no baixo estuário do rio Capibaribe. D.M – Diâmetro médio; G.S – Grau de Seleção;  $\text{CaCO}_3$  – Carbonato de cálcio; MOT – Matéria orgânica total.

Unidades	% $\text{CaCO}_3$	%MOT	DM	GS	% Areia	%Silte	% Argila
1	$10,1 \pm 2,7$	$4 \pm 1,7$	$3,5 \pm 0,5$	$1,6 \pm 0,2$	$70,3 \pm 11,0$	$26,1 \pm 9,7$	$3,7 \pm 1,5$
2	$6,7 \pm 1,7$	$1,8 \pm 0,5$	$1,0 \pm 0,4$	$1,2 \pm 0,2$	$95,2 \pm 2,6$	$4,4 \pm 2,2$	$0,4 \pm 0,4$
3	$14,6 \pm 4,0$	$6,3 \pm 1,5$	$3,5 \pm 0,6$	$2,1 \pm 0,2$	$63,3 \pm 11,1$	$32,2 \pm 10,1$	$4,6 \pm 1,0$



**Figura 2** - Variação vertical dos parâmetros granulométricos, porcentagens de carbonato de cálcio e matéria orgânica total.

A unidade 1 apresentou valores da porcentagem de carbonato de cálcio e do teor de matéria orgânica variaram de 4,5 a 19,5% e 0,2 a 8,1%, respectivamente. O diâmetro médio variou de 2,2 a 5,1 com predomínio de areia fina. Grau de seleção de muito pobremente selecionado a pobremente selecionado com predomínio de muito pobremente selecionado. As porcentagens de areia, silte e argila variaram 21,0 a 92,3%, 5,9 a 44,6% e 1,1 a 13,3%, respectivamente (ver Fig. 2).

A unidade 2 apresentou variação dos teores de carbonato e da matéria orgânica total de 3,7 a 14,0 % e de 0,7 a 3,3%, respectivamente. O diâmetro médio de 0,3 a 2,2 com predomínio de areia grossa. Grau de seleção de muito pobremente selecionado a pobremente selecionado com predomínio de pobremente selecionado. As porcentagens de areia, silte e argila variaram de 21,0 a 99,9%, 0,1 a 9,9% e 0,0 a 1,3%, respectivamente.

A unidade 3 apresentou variação nos teores de carbonato de cálcio e de matéria orgânica total variaram 7,30 a 22,80% e 1,73 a 11,50%, respectivamente. O diâmetro médio variou de 2.2 a 5.3, com predomínio de areia muito fina. As porcentagens de areia, silte e argila variaram de 28,92 a 91,77%, 7,42 a 62,17% e 0,81 a 8,91%, respectivamente (ver Fig. 2).

## DISCUSSÃO

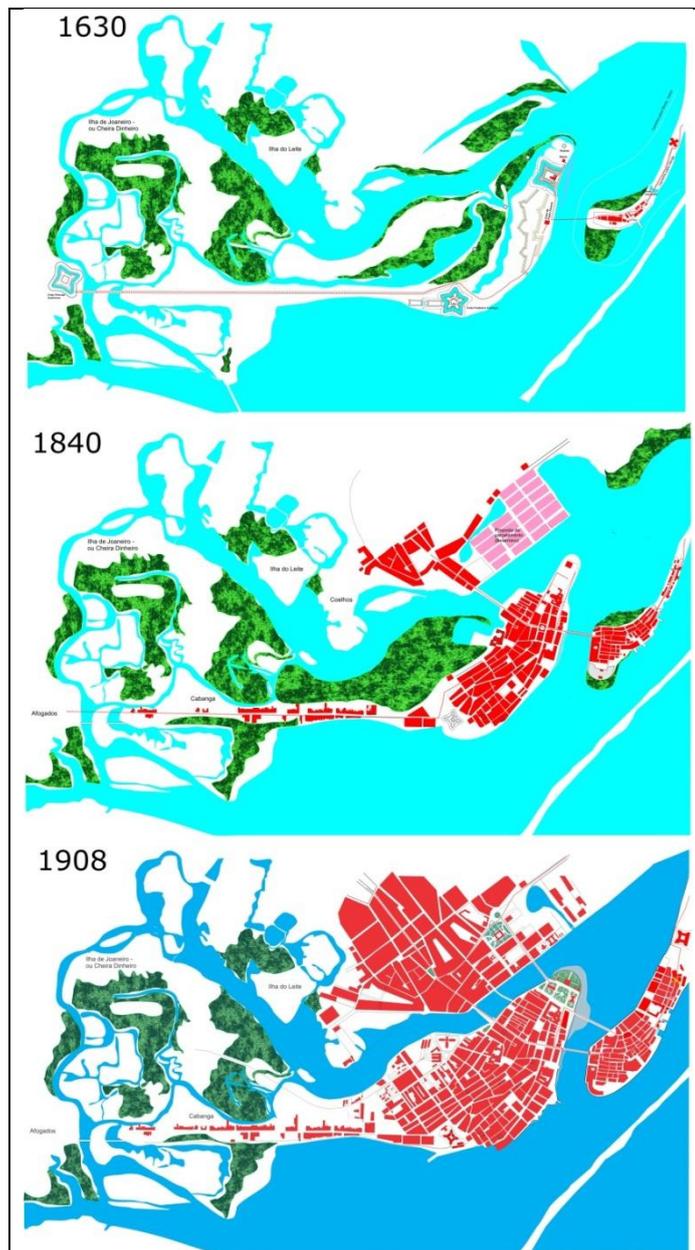
A unidade 1(1856 e um período anterior a 1812) compreende possivelmente a uma planície de maré com influência de vegetação de mangue representada pelos altos valores de MOT (média de  $4 \pm 1,7\%$ ) e finos (silte e argila com médias de  $26,1 \pm 9,7$  e  $3,7 \pm 1,5$ , respectivamente) (ALONGI, 1990; PRASAD et al., 2010). Picos de carbonato de cálcio possivelmente associados a um período de maior produtividade marinha (LANA et al., 1997; BOSENCE; WILSON, 2002). Este estrato registrou presença de fácies arenosas e siltico-arenosas sendo indicativo de mudanças no comportamento hidrodinâmico e/ou da fonte de sedimento para o complexo estuarino (PERILLO, 1995).

Neste período, o baixo estuário do rio Capibaribe apresentava diversos canais de comunicação com o rio e o oceano adjacente além do canal principal do rio Capibaribe, tais como a Barreta das Jangadas e o acesso entre a praia da ilha do Nogueira e aos arrecifes, que facilitavam a circulação das águas entre o estuário e a plataforma adjacente (Fig. 3). Esses acessos possivelmente facilitavam o transporte de areia para o sistema estuarino, aumentando a influência marinha por meio da corrente de deriva litorânea, onde no litoral da RMR ocorre preferencialmente no sentido norte e apresenta-se interdependente das variações das intensidades dos ventos (BORBA, 1999). Estas correntes possivelmente aumentariam o transporte de areia para dentro do baixo estuário devido ao contato direto com a plataforma continental interna adjacente.



**Figura 3:** Mapa do estuário do rio Capibaribe em 1648. 1 - Olinda; 2 - Rio Beberibe; 3 - Rio Capibaribe; 4 - Ilha de Antônio Vaz (atual bairro de São José); 5 - Rios Tejiipió/Jiquiá; 6 - Ilha do Nogueira (atual bairro do Pina); 7 - Bacia do Pina; 8 - Barreta das Jangadas; 9 - Vila e Porto do Recife. Modificado do Mapa de Cornelis Golijath. Fonte: Museu Nacional do Rio de Janeiro.

O primeiro registro de ação antrópica no estuário do rio Capibaribe foi com a chegada dos holandeses na região nordeste do Brasil, principalmente em Pernambuco. O período de permanência dos holandeses em Recife (1630 a 1654) foi marcado por grandes transformações do espaço físico da cidade como aterramentos das áreas de mangue e de várzea, construções de pontes, camboas drenadas, além das primeiras obras de melhoramento da área portuária e a execução do primeiro plano urbanístico da cidade, que ocorreram a partir de 1637 (BARRETO, 1994). Segundo Vasconcelos e Sá (2011) a área central da Ilha de Antônio Vaz (atual bairro de São José) foi bastante modificada com a construção de canais, as áreas alagadas e encharcadas foram aterradas para incorporação de novos espaços urbanos, obras de saneamento e arborização da ilha. O material de aterro para a ampliação de terra firme era fornecido por meio do material dragado das aberturas de canais. Durante os séculos XVIII e XIX a cidade do Recife já se apresentava bem consolidada e começava o processo de expansão urbana, com ampliação das ilhas de Antônio Vaz com obras de aterramento para construção de ruas e ampliação de bairros. A população da cidade do Recife aumentou durante o século XIX, apresentando em 1810, 26 mil habitantes, passando para aproximadamente 70 mil em 1850. O crescimento populacional foi determinante para construção de moradias (PONTUAL, 2001) (Fig. 4).

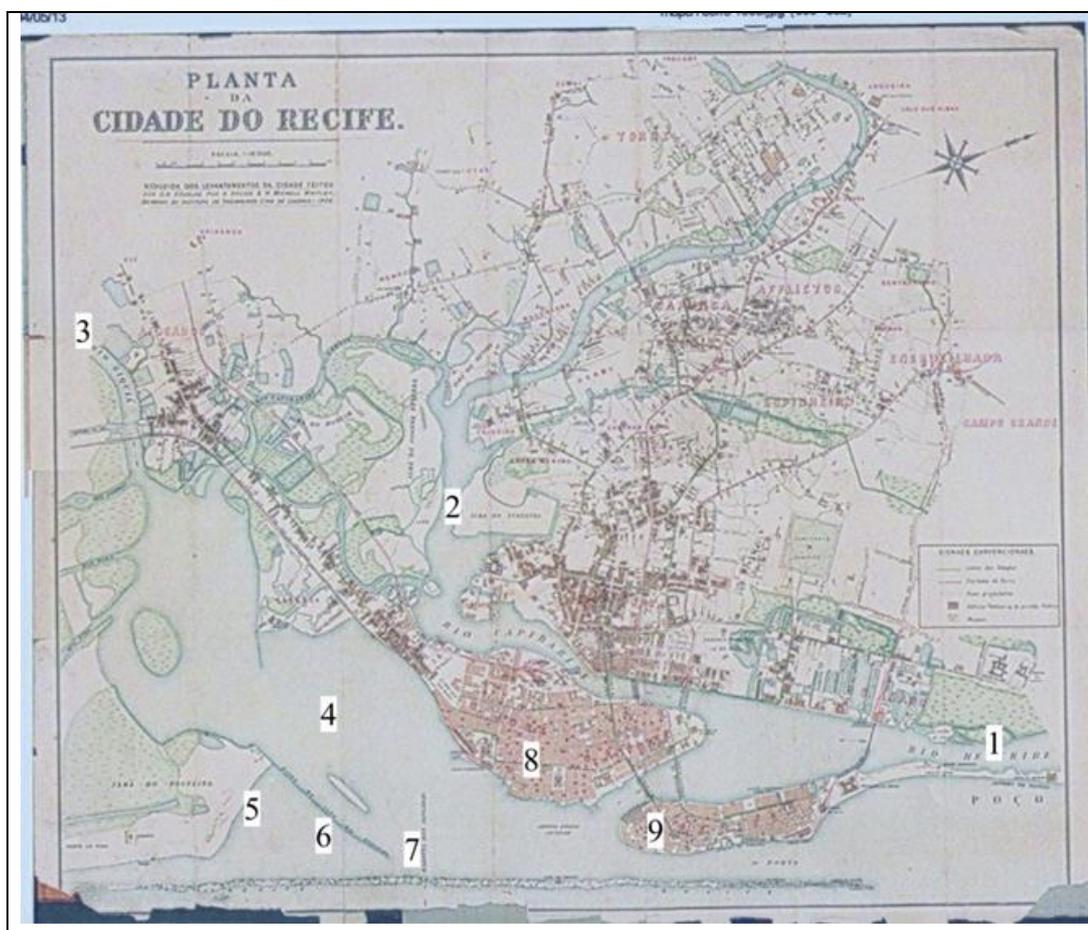


**Figura 4** - Evolução do espaço urbano da cidade do Recife. Créditos: José Luís da Mota Menezes

A unidade 2 (período entre 1972 a 1856) registrou incremento nas porcentagens de areia (média de 95,2%) com granulação predominando areia média, diminuição nas porcentagens de finos (médias para silte e argila de 4,4 e 0,4%, respectivamente) e matéria orgânica total (média de 1,8%). Picos de carbonato podem estar associados a uma maior influência de organismos carbonáticos no baixo estuário (LANA et al., 1997). Essa característica sedimentar registrada para a unidade pode estar relacionada com o início das modificações em todo o baixo estuário em meados do século XIX, principalmente na Bacia do Pina e na área portuário do Recife (PONTUAL, 2001; PEREIRA, 2008).

A primeira modificação da linha de costa foi a construção do dique do Nogueira em 1849, com o intuito de diminuir a entrada de sedimentos arenosos na calha principal do porto (PEREIRA, 2008). As obras de melhoramento do Porto do Recife findaram em 1910 com a construção total do dique instalado sobre as rochas de praia (arrecifes) e o aterramento de áreas alagadas no entorno do baixo estuário. Entretanto, as obras de ampliação do Porto do Recife perduraram durante a década de 30 do século XX. Em

1934, foi realizada a dragagem do banco de areia chamado Coroa dos Passarinhos, localizado na Bacia do Pina. Esse material dragado foi despejado na área triangular que se formava entre o dique construído em 1910 com o dique do Nogueira, e que seria utilizada como um parque de combustíveis, sob administração do Porto do Recife e atualmente localiza-se o bairro de Brasília Teimosa (PEREIRA, 2008) (Fig. 5).



**Figura 5** - Mapa do estuário do rio Capibaribe em 1909. 1 - rio Beberibe; 2 - rio Capibaribe; 3 - rio Tejiptió; 4 - Bacia do Pina; 5 - Ilha do Nogueira; 6 - Dique do Nogueira; 7 - Barreta das Jangadas; 8 - Bairro de São José; 9 - Porto do Recife. Fonte: Prefeitura do Recife.

Apesar de todas essas modificações ocorridas no sistema estuarino desde 1849, a unidade 2 registrou o maior acúmulo de sedimentos arenosos de granulação média a grossa. Este registro pode estar relacionado a uma possível mudança da orientação do fluxo de escoamento na Bacia do Pina, devido a construção do dique do Nogueira e das construções do dique de proteção do porto do Recife que bloquearam os antigos acessos da barreta das jangadas, e, entre a praia e a bacia. Estas modificações possivelmente aumentariam a velocidade da corrente principal facilitando a deposição de sedimentos de maior granulação, com predominância de areia média para o sistema estuarino. Schettini et al. (2016) registraram velocidades de corrente de vazante com máximos de  $0,68 \text{ m.s}^{-1}$  para o baixo estuário do rio Capibaribe. Essas velocidades de correntes de maré apresentam competência e capacidade no transporte de sedimentos arenosos médios e grossos (IBÁÑEZ; PRAT, 1996), o que poderia ser reflexo da presença deste tipo de sedimento nesta unidade (ver Fig. 2).

A terceira unidade, período de 2012 a 1972, registrou incremento nas porcentagens de finos (silte e argila com médias de 26,1 e 3,7%, respectivamente) e MOT (média de 4%), diminuição nas porcentagens de areia (média de 70,33%), porém com predomínio de areia muito fina. De acordo com essas características sedimentares foi classificada como um ambiente de estuarino (PERILLO, 1999) intensamente urbanizado.

Um conjunto de fatores pode ter influenciado na mudança das características sedimentares para esta unidade. O primeiro fator pode estar associado à intensificação dos desmatamentos das áreas de mangue nos arredores do estuário pelo processo de ocupação desordenada ocorrido na área do bairro de Brasília Teimosa em 1958 e da ilha de Deus ao final da década de 60 do século XX. Neste período o interior do estado de Pernambuco passava por um longo período de seca, causando a migração da população que residia no sertão para a capital. Essa migração intensificou o processo de ocupação urbana desordenada do Recife, principalmente no bairro do Pina, passando a ocupar a área onde seria construído o parque de combustível do Porto do Recife, hoje localizado o bairro de Brasília Teimosa, e às margens da bacia. Bem como a construção dos tanques de piscicultura e carcinicultura na Ilha de Deus (PEREIRA, 2008). SCHAEFFER-NOVELLI (1999) afirma que interferências antrópicas em ecossistemas de manguezais influenciam no aumento os processos erosivos, e conseqüentemente, a disponibilidade de sedimentos finos para os sistemas estuarinos.

O segundo fator estaria relacionado às obras de dragagem da área portuária. Estas modificações aumentaram a área da seção transversal e aprofundaram o canal principal do Porto do Recife, desta forma, ocorrendo uma diminuição do ingresso de areias marinhas para o sistema estuarino. O aprofundamento do canal implicaria também na redução da velocidade do fluxo e da energia das correntes no trecho inferior do baixo estuário, e assim, aumentaria as concentrações de sedimentos finos devido ao espalhamento e perda de competência das correntes nesta área (OLIVEIRA et al., 2014).

O terceiro fator poderia estar associado a outras formas de alterações antrópicas. Segundo Cavalcanti (2008) o início da urbanização e a intensa verticalização modificaram o entorno da Bacia do Pina através de grandes obras de aterramento das áreas alagadas, canalização de rios, impermeabilização da superfície, entre outras formas de descaracterização dos sistemas ecológicos. Maciel (1991) afirma que as constantes modificações podem alterar a drenagem e afetar a frequência de inundação, podendo comprometer principalmente os ecossistemas manguezais. Estes apresentam uma relação direta com os fluxos de material sedimentar e hidrodinâmica da oscilação das marés, responsáveis pelas modificações geomorfológicas no sistema estuarino. Por fim, o braço sul do rio Capibaribe que possivelmente apresenta-se como um grande contribuinte no aumento de sedimentos finos para a bacia do Pina em especial após 1950, ocasião em que foi retilinearizado.

Esses fatores podem ter influenciado diretamente no registro apresentado pela unidade 3, entretanto não é possível estabelecer o registro individual deles neste intervalo. Bell et al. (2000) afirmam que as atividades antrópicas podem mudar o balanço sedimentar dos estuários em diversas formas como a erosão e a mudança do padrão do fluxo da corrente de maré que interferem diretamente no transporte de sedimentos. Existem alguns outros fatores que modificam esse padrão de distribuição de sedimentos como as construções portos e marinas que são ótimos em reterem material fino. O que para o baixo estuário do rio Capibaribe possivelmente pode estar associado às palafitas; aos processos de dragagem dos rios que ressuspendem o sedimento fino para que ocorra uma nova deposição; as construções de arruamentos e pontes; e o desmatamento da vegetação que circunda o estuário (Fig. 6).



**Figura 6** - A) Foto aérea de 1950 da Baía do Pina e B) imagem de satélite do Google Earth em 2012. 1 – Braço sul do rio Capibaribe; 2 – rio Tejipió; 3 – rio Jordão; 4 – Ilha de Deus; 5 – rio Pina; 6 – Área do parque de combustíveis do Porto do Recife (atual bairro de Brasília Teimosa); 7 – Baía do Pina.

Três picos de sedimentos finos e MOT foram registrados nas profundidades 4, 16 e 72 cm para o testemunho. Com o auxílio do resultado da taxa de sedimentação ( $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$ ) estes intervalos podem ser referentes os anos de 2010, 1975 e 1849, respectivamente (Fig. 2). Estes foram os anos das principais cheias ocorridas na cidade do Recife desde o século XIX. De acordo com Tucci (1995) chuvas com duração de dias podem influenciar nas taxas de sedimentação locais. Eventos dessa magnitude têm competência para carrear grandes quantidades de sedimentos, em especial a fração fina, e assim modificar a taxa de deposição local.

Foram observados acréscimos nos conteúdos de matéria orgânica e de carbonato de cálcio em direção ao topo do testemunho. Os picos de matéria orgânica registrada no testemunho podem ser indicativos do aumento da produtividade primária no estuário ou a maior disponibilidade de matéria orgânica oriunda dos manguezais registrado no caso da unidade 1 e o aumento dos dejetos domésticos em relação à unidade 3. Como reflexo aos picos de matéria orgânica, os maiores valores de carbonato também estariam associados a essa maior produtividade estuarina, sendo possível estabelecer esta relação entre o carbonato de cálcio e a matéria orgânica ( $r_s = 0,54$ ;  $p < 0,05$ ;  $n = 79$ ) (BOSENCE; WILSON, 2002).

### CONCLUSÃO

Os 200 anos da evolução sedimentar no baixo estuário do rio Capibaribe registrou três unidades sedimentares com características sedimentares diferentes. A primeira unidade registrou uma sedimentação estuarina com alta deposição de sedimentos finos e conteúdos de matéria orgânicos possivelmente oriundos do manguezal, e predominância de sedimento com granulação areia fina. Essa unidade registrou o padrão de sedimentação influenciado pelo manguezal anterior as primeiras modificações para o baixo estuário, em que apresentavam um padrão na circulação estuarina com vários canais de acesso entre o Oceano Atlântico e a Baía do Pina .

A segunda unidade registrou acréscimo nas porcentagens de areia com predomínio de areia de granulação média, diminuição nos conteúdos de finos e MOT provavelmente devido às obras de melhoramento do Porto do Recife como a construção do Dique do Nogueira, do dique de proteção do Porto e o aterramento da área para a construção do parque de combustíveis, atual bairro de Brasília Teimosa. Essas modificações antrópicas possivelmente intensificaram a hidrodinâmica local,

influenciando no aumento da deposição de grãos de granulação média a grossa neste período (1972 a 1856).

Por fim a terceira unidade apresentou características de um ambiente estuarino com influência antrópica, registrando aumento nas porcentagens de sedimentos finos e MOT. Esse material orgânico pode estar associado à origem antrópica devido à intensa urbanização no entorno do sistema estuarino. As modificações no padrão sedimentar desta unidade ocorreram a partir de 1960, devido a um conjunto de fatores que influenciaram na maior deposição de sedimentos finos e de MOT na bacia como a ocupação desordenada (instalação de palafitas), a remoção da vegetação de mangue, construção de tanques de carcinicultura, intensificação dos aterramentos de áreas alagadas e das dragagens do canal portuário.

Além dos impactos antrópicos ocorridos na bacia, foram observados três picos de sedimentos finos e de MOT no testemunho em diferentes profundidades (4, 16 e 72 cm.) o que possivelmente reportam os eventos climáticos extremos associados a chuvas intensas e cheias ocorridos na Região Metropolitana do Recife nos anos de 2010, 1975 e 1849, respectivamente.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FACEPE/FAPESP pelo financiamento do Projeto MUGLOEST (Edital de Mudanças Globais 2011). A CAPES pela bolsa de Doutorado e ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia – UFPE. Ao IOUSP pelas análises de <sup>210</sup>Pb. A Emarielle Coelho Pardal e Luciana Dantas dos Santos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONGI, Daniel M. Effect of mangrove detrital outwelling on nutrient regeneration, oxygen fluxes in coastal sediments of the central Great Barrier Reef lagoon. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 31, p. 581-598, 1990.

APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F. **Application of Lead-210** to sedimentation studies. In: IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. (eds.) Uranium-series disequilibrium. New York: Oxford Science, 1992. p. 731-778.

AQUINO; Eveline P.; BORGES, Gislayne C. P.; HONORATO-DA-SILVA, Marcos; PASSAVANTE, José Z. O.; CUNHA, Maria G. G. S. Microphytoplankton community and environmental variables in an urban eutrophic estuary (Capibaribe River, Northeast Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Science**, v. 9, n. 4, p. 267-277, 2014.

BELL, Rob; GREEN, Mal; HUME, Terry; GORMAN, Richard. What regulates sedimentation in estuaries? **Water & Atmosphere**, v. 8, n. 4, p. 13-16, 2000.

BORBA, A. L. S. **Estudos sedimentológico, morfodinâmicos e de vulnerabilidade das praias da Piedade, Candeias e Barra das Jangadas – Município de Jaboatão dos Guararapes-PE**. Recife, 1999. 130f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

BOSENCE, Dan W. J.; WILSON, R. Chris. L. Carbonate depositional system. **The geological Record of Environmental Change**, v. 11, p. 102-233, 2002.

BUCKLEY, Dale E.; SMITH, John N.; WINTERS, Gary V. Accumulation of contaminant metals in marine sediments of Halifax Harbour, Nova Scotia: Environmental factors and historical trends. **Applied Geochemistry**, v. 10, n. 2, p. 175-195, 1995.

CAMARGO, Maurício G. Sysgran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 371-378, 2006.

CARVER, R. E (Ed.). **Procedures in Sedimentary Petrology**. Wiley Interscience, 1971. 653p.

CAVALCANTI, C. B (Ed.). **O Recife e seus Bairros**. Ed. do Autor, 4ª ed. Recife, 2009. 355p.

DÍAZ-ASENCIO, Misael; ALONSO-HERNÁNDEZ, Carlos M.; BOLANOS-ÁLVAREZ, Yoelvis; GÓMEZ-BATISTA, Miguel; PINTO, V.; MORABITO, Roberto; HERNÁNDEZ-ALBERNAS, J. I.; ERIKSSON, Mats; SANCHEZ-CABEZA, Joan-Álbert. One century sedimentary record of Hg and Pb pollution in the Sagua estuary (Cuba) derived from <sup>210</sup>Pb and <sup>137</sup>Cs chronology. **Marine Pollution Bulletin**, v. 59, p. 4-7, 2009.

ELLIOTT, Mike.; MCLUSKY, Donald S. The need for definitions in understanding estuaries. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 55, p. 815-827, 2002.

FIGUEIRA, Rubens C. L.; SILVA, L. R. N.; FIGUEIREDO, Ana M. G.; CUNHA, Ieda I. L. Goiana, Ten Years Later. Instrumental analysis by gamma spectrometry of low level Cs-137 in marine samples. IAEA, Vienna, v. 7, p. 327-329, 1998.

FITZGERALD, D. M.; KNIGHT, J. **High Resolution Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries**. Springer, New York, 2005. 365p.

FOLK, Robert L.; WARD, Willian C. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

IBÁÑEZ, Carles; PRAT, Narcís; CANICIO, Antoni. Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro River and its estuary. **Regulated River-research & Management**, v. 12, p. 51-62, 1996.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. 2010.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acessado em 09 de junho de 2015. 2015.

J. H, A, S. K.; CHAVAN, S. B.; PANDIT, G. G.; SABASIVAN, S. Geochronology of Pb and Hg pollution in a coastal marine environment using global fallout. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 69, p. 145-157, 2003.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p. 1948.

LANA, Paula C.M., COUTO, Erminda C. & ALMEIDA, Marcus V.O. Polychaete distribution and abundance in intertidal flats of Paranaguá Bay (SE Brazil). **Bulletin Marine Science**, 60(2) 433-442, 1997.

LI, Xiang D.; WAI, Onyx W. H.; LI, Y. S.; COLES, Barry J.; RAMSEY, Michel H.; THORNTON, Iain. Heavy metal distribution in the sediment profiles of the Pearl River estuary, South China. **Applied Geochemistry**, v. 15, p. 567-581, 2000.

MACÊDO, Sílvio J.; PHILLIPPINI DA SILVA, Héliida K.; BRAYNER, Fátima M. M.; DUARTE, Marta M. M. B.; BARBOSA, Ana M. F. Heavy metal concentrations in sediments of the Capibaribe River estuary in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco-Brazil. **WIT Transaction on Ecology and the Environment**, v. 102, p. 357-365, 2007.

MACIEL, N. C. **Alguns aspectos da ecologia do manguezal.** In: CPRH, 1991. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife, Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos. Série Publicações Técnicas, v 3. p. 9-37. 1991.

MARTINS, César C.; MAHIQUES, Michel M.; BÍCEGO, Márcia C.; FUKUMOTO, Marina M.; MONTONE, Rosalina C. Comparison between anthropogenic hydrocarbons and magnetic susceptibility in sediment cores from the Santos Estuary, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, n. 2, p. 240-246, 2007.

MEYERS, Philip A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, v. 27, p. 213-250, 1997.

OLIVEIRA, Thaís S.; BARCELLOS, Roberto L.; SCHETTINI, Carlos A. F.; CAMARGO, Plínio B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica e um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 14, p. 399-411, 2014.

OLIVEIRA, T. S. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (Recife-PE).** Recife, 2014, 112f. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

PATCHINEELAM, Sambasiva R.; SMOAK, Joseph M. Sediment accumulation rates along the inner eastern Brazilian continental shelf. **Geo-Marine Letters**, v. 19, p. 196-201, 1999.

PEREIRA, O (Ed.). **Histórias do Pina.** Prefeitura do Recife Secretaria de Cultura. Fundação de Cultura Cidade do Recife, 2008. 54p.

PERILLO, G. M. E. **Definitions and geomorphologic classification of estuaries.** In: PERILLO, G.M.E (Eds) *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries.* Elsevier, 1996. p. 17-46.

PONTUAL, Virgínia. Tempos do Recife: representações culturais e configurações urbanas. *Revista Brasileira de História*, v. 21, n. 42, p. 417-434, 2001.

SAITO, Ricardo T.; FIGUEIRA, Rubens C. L.; TESSLER, Moyses G.; CUNHA, Ieda I. L. Geochronology of sediments in the Cananéia-Iguape Estuary and in southern continental shelf of São Paulo State, Brazil. **Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 250, n. 1, p. 109-15, 2001.

SANDERS, Christian J.; SANTOS, Isaac R.; SILVA-FILHO, Emmanoel V.; PATCHINEELAM, Sambasiva R. Mercury flux to estuarine sediments derives Pb-210 and Cs-137 geochronologies (Guaratuba Bay, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 1085-1089, 2006.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. "Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum." São Paulo. 1999. Disponível em [http://anp.gov.br/meio/guias/sismica/refere/manguezal\\_marisma\\_apicum.pdf](http://anp.gov.br/meio/guias/sismica/refere/manguezal_marisma_apicum.pdf). Acessado em 03 de junho de 2015.

SCHETTINI, Carlos A. F.; PAIVA, Bárbara P. P.; BATISTA, Rafael A. L.; OLIVEIRA FILHO, José C.; TRUCCOLO, Eliana C. Observation of an Estuarine Turbidity Maximum in the Highly impacted Capibaribe Estuary, Brazil. **Brazilian Journal Oceanography**, v. 64, n. 2, p. 185-190, 2016.

SHEPARD, Francis P. Nomenclature Based on Sand, Silt, Clay Ratios. **Journal Sedimentary Petrology**, v. 24, p. 151-158, 1954.

SILVA, Héliida K. P.; MACÊDO, Sílvio J.; BRAYNER, Fátima M. M. Avaliação das concentrações de metais traços nos sedimentos do Parque dos Manguezais, Região Metropolitana do Recife (RMR) Pernambuco, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 174-180, 2010.

SRHE. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Estado de Pernambuco. Plano Hidroambiental do rio Capibaribe. 2010. Disponível em: <  
[http://www.sirh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/bacia\\_capibaribe/index.php/download](http://www.sirh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/bacia_capibaribe/index.php/download)>. Acessado em 13 de fevereiro de 2015.

SWARZENSKI, Peter W.; BASKARAN, Mark.; ROSENBAUER, Robert J.; OREM, Willian H. Historical trace element distribution in sediments from the Mississippi River delta. **CERF**, v. 29, n. 6, p. 1094–1107, 2006.

TRAINI, Camille; PROUST, Jean N.; MENIER, David; MATHEW, M. J. Distinguishing Natural Evolution and Human Impact on Estuarine Morpho-sedimentary Development: A Case Study from the Vilaine Estuary, France. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 163, p. 143-155, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Enchentes urbanas**. In: Drenagem Urbana, cap. 1 Editora da Universidade, ABRH, 1995.

UNCLES, Reg J. Estuarine physical processes research: Some recent studies and progress. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 55, p. 829–856, 2002.

VASCONCELOS, T. L.; SÁ, L. A. C. M. A Cartografia Histórica da Região Metropolitana do Recife. In: **Anais do I Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica**. 1-20. 2011. Acessível na URL  
[https://www.ufmg.br/rededemuseus/crch/simposio/VASCONCELOS\\_THATIANA\\_E\\_SA\\_LUCILENE\\_ANTUNES.pdf](https://www.ufmg.br/rededemuseus/crch/simposio/VASCONCELOS_THATIANA_E_SA_LUCILENE_ANTUNES.pdf). Acessado em 05 de junho de 2015.

WANDERLEY, Cristina V. A.; GODOY, José M.; GODOY, Maria L. D. P.; REZENDE, Carlos E.; LACERDA, Luiz D.; MOREIRA, Isabel; CARVALHO, Zenildo L. Evaluating sedimentation rates in the estuary and shelf region of the Paraíba do Sul River, Southeastern Brazil. **Journal Brazilian Chemistry Society**, v. 25, n. 1, p. 50-64, 2014.

WATSON, Elizabeth B.; PASTERNAK, Gregory B.; GRAY, Andrew B.; GÔNI, Miguel; WOOLFOLK, Andrea M. Particle size characterization of historic sediment deposition from a closed estuarine lagoon, Central California. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 126, p. 23-33, 2013.

ZHANG, Luoping; YE, Xin; FENG, Huan; JING, Youhai; OUYANG, Tong; YU, Xingtian; LIANG, Rongyuan; GAO, Chengtie; CHEN, Weiqi. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, p. 974–982, 2007.

ZOURARAH, Bendahhou; MAANAN, Mohamed; CARRUESCO, Christian; AAJJANE, A.; MEHDI, Khalid; CONCEIÇÃO FREITAS, Maria. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast). **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 72, p. 359-369, 2007.