UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

EMARIELLE COELHO PARDAL

ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS DO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, RECIFE, PERNAMBUCO

Recife
2019

EMARIELLE COELHO PARDAL

ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS DO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, RECIFE, PERNAMBUCO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito final para a obtenção do Título de Doutor em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Professor Dr. Roberto Lima Barcellos

Coorientador: Professor Dr. Manuel de Jesus Flores Montes

Recife

2019

Catalogação na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

P226a Pardal, Emarielle Coelho.
Aspectos sedimentológicos e geoquímicos do estuário do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco / Emarielle Coelho Pardal – Recife, 2019.
152 f., figs., tabs., abrev. e siglas, símbol.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.
Coorientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2019.
Inclui referências e apêndice.

1. Geociências. 2. Estuário. 3. Matéria orgânica. 4. Fósforo sedimentar. 5. Isótopos de carbono e nitrogênio. I. Barcellos, Roberto Lima (Orientador). II. Montes, Manuel de Jesus Flores (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.) BCTG/2019 - 352

EMARIELLE COELHO PARDAL

ASPECTOS SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS DO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, RECIFE, PERNAMBUCO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito final para a obtenção do Título de Doutor em Geociências.

Aprovada em: 25/02/2019.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr Roberto Lima Barcellos - Orientador
Departamento de Oceanografia – UFPE

_____

Prof. Dr Manuel de Jesus Flores Montes – Co-Orientador
Departamento de Oceanografia – UFPE

_____

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso – Titular
Departamento de Geologia– UFPE

_____

Prof. Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva- Titular
Museu Paraense Emílio Goeldi- MPEG

_____

Prof. Dr. Virgínio Neumann-Titular
Departamento de Geociências-UFPE

_____

Dr. Felipe Lima Gaspar- Titular
Departamento de Oceanografia-UFPE

_____

Prof. Dr. José Antonio Barbosa (Suplente)
Departamento de Geociências-UFPE

_____

Prof^{a}. Dr^{a} Eliete Zanardi Lamardo (Suplente)
Departamento de Oceanografia-UFPE

Dedico a todos os Mestres os quais aprendi tudo que sei hoje, em especial ao Prof. **Manuel Flores** que sempre me auxiliou na vida acadêmica, sendo um grande Pai para mim, e ao Prof. **Roberto Barcellos** que me orientou nesta área nova, ensinando-me e auxiliando-me em todas as fases desta etapa e sempre muito compreensivo. E claro, gostaria também de dedicar este trabalho aos **meus familiares, companheiro, filhas e amigos** que estão presentes em tudo que faço me dando apoio e muito incentivo. Sem essa base eu nada seria, nada conseguiria.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus Orientadores, Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos e Prof. Dr. Manuel Flores Montes, pelo apoio, amizade, aprendizado e, principalmente, pela oportunidade. Muito obrigada por compartilharem seus conhecimentos os quais foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da Bolsa.

Aos projetos do CNPq, os quais financiaram este trabalho de pesquisa.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica-LABOGEO. e ao laboratório de Oceanografia Química (LOQUIM), pelas análises.

Ao, atual, Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA/ USP, no nome do Professor Plínio Camargo.

Não posso deixar de agradecer à secretaria da Pós-graduação, sempre muito solicita em ajudar.

Ao meu companheiro e amigo de todas as horas Diego Xavier, pela paciência e incondicional apoio. Obrigada por todos os ensinamentos, conselhos e auxílios, sem você, certamente esta caminhada teria sido bem mais difícil.

Aos dois seres de luz que recebi em meu ventre: Eva e Luê, que vieram a este mundo para me ensinar que a vida tem vários lados. Minhas pequenas mostraram que a vida se ajeita independente das circunstâncias, e isso me deu forças, pincipalmente, nos momentos finais deste trabalho.

À minha família que tanto me apoiou nesses anos que passei distante de casa. Cada conquista que almejo e alcanço é por, e para vocês, que tanto me perdoaram pela triste ausência em muitos momentos importantes da família. Amo muito todos vocês!!!

Aos amigos de laboratório: Camilla, Eduardo, Thais, Diego, Marcos, Paate, Felipe, Keyla, Jamerson, Lucas, Breno, Talita que, direta ou indiretamente, auxiliaram com este trabalho, seja em coletas, disciplinas, análises ou revisões/sugestões. Gostaria de agradecer em especial à Josiane Paulo e à Técnica do Labogeo Luciana Dantas que me auxiliaram em muitas análises deste trabalho, firmando uma parceria além da vida acadêmica. Sempre grata, meninas.

Aos amigos “Parabucanos”: Valdimere, Andrea, Beta, Gabi, Léo, Larissa, Raque e Malandrinho (Marcos) pelos momentos que passamos agregando verdadeiros valores de amizade, que de certa forma amenizaram a saudade do seio familiar.

Aos inúmeros amigos (impossível citar todos) que torcem pelo meu sucesso e crescimento. O meu abraço apertado em vocês. Obrigada pelo incentivo de sempre.

O Rio Capibaribe é valente. Percorre seus 240Km, ora seco, ora abundante, e nesse caminho recebe o lixo e o carinho de Poções, Santa Cruz do Capibaribe (...). O Capibaribe tem como aliadas algumas pequenas matas em sua extensão, que ele namora com ardor e lhe dão forças para seguir viagem. Queira o Deus dos rios que os homens não as eliminem, ele morreria de tristeza. Nas cheias traz em seu leito as baronesas, avisando ao povo que suas águas vão subir. Severinos passaram por todas suas vilas, cidade, rios e riachos e chegaram ao Recife, cresceram e se multiplicara, uns heróis, outros bandidos... O Capibaribe abraça a cidade grande, traz peixes, passa por suas mil pontes, onde pescadores, agradecidos aguardam seus regalos com redes e anzóis. Nos gabinetes e palácios, homens de gravata e mulheres de tailleur fazem promessas ao rio, de que sua vida vai melhorar, e que suas águas voltarão a ser limpas, o rio escuta pacientemente e generoso, invade os canais e aceita gentilmente as marés. Enquanto isso não acontece, une-se ao Beberibe, e formam o oceano Atlântico. (SALAZAR, 2015, p. 71)

RESUMO

Esta pesquisa objetiva estudar a variabilidade espacial, sazonal e interanual dos processos sedimentares e geoquímicos de um estuário tropical densamente urbanizado (Estuário do Rio Capibaribe-PE). Foram realizadas amostragens de sedimentos superficiais de fundo, nos anos de 2010 a 2013 e 2015 a 2017, com um amostrador pontual de fundo ("Van-Veen"). Doze pontos foram amostrados ao longo do estuário, nos dois primeiros anos ocorreram 4 amostragens na plataforma continental interna (PCI), totalizando 136 amostras. Foram feitas análises granulométricas; do conteúdo de matéria orgânica total (MOT) e carbonato de cálcio (CaCO3); análises elementares de C e N, cálculo das razões elementares C/N e das razões isotópicas de carbono (δ13C) e nitrogênio (δ 15N). Foi calculado o índice do Estado Trófico do Sistema e determinado concentrações do fósforo sedimentar. Sazonalmente e espacialmente, a dinâmica sedimentar e geoquímica do estuário exibiu dois comportamentos durante os períodos chuvosos: (i) incremento de sedimentos arenosos de origem fluvial terrígena, geralmente depositados na calha principal do rio; e (ii) deposição de finos na região do baixo estuário. Para os períodos secos, a deposição de finos e de matéria orgânica aumentaram no médio estuário, maiores porcentagens de sedimentos arenosos de origem marinha e incremento nos valores de carbonato para o baixo estuário. O incremento nos conteúdos de MOT no médio estuário interferiu na produção de carbonato marinho, diminuindo suas concentrações e sua distribuição ao longo do sistema. As dragagens modificaram o padrão sedimentar anual. Em 2012 e 2013, ocorreu aumento das porcentagens de lama e no restante dos anos apresentou predomínio de sedimentos arenosos. O maior aporte de carbono orgânico e de nitrogênio total ocorreu no período seco, associados à sedimentação de granulação mais fina. Os resultados da razão isotópica (C/N) permitiram caracterizar o estuário como um ambiente de fontes mistas de MOT, nos períodos secos, origem mista e marinha, e nos períodos chuvosos registrou MOT de origem continental. A origem da MOT, segundo a razão δ13C, mostrou tendência continental com ocorrências de origem marinha, em 2010. Em 2011, revelou tendência marinha com ocorrências de origem continental. A razão δ15N, indicou origem marinha para os períodos chuvosos, e nos meses mais secos, registraram origem terrígena, natural e antrópica, com forte indício de poluição com MOT oriunda de efluentes domésticos, tendo, o estuário, predomínio de condições hipertróficas ao longo dos anos. Os elevados teores de MOT inibiram a adsorção do fósforo nos sedimentos. Contudo, as elevadas concentrações de fósforo indicam altos índices de contaminação, expondo valores de advertência em todo o sistema, e uma concentração 8x

maior que o valor permitido pelo CONAMA, PT>2000 mg.kg-1 . Por fim, este trabalho permitiu concluir que a crescente expansão urbana, as modificações na geomorfologia do estuário e o incremento de efluentes domésticos e industriais, somados aos índices pluviométricos e as operações de dragagens foram fatores determinantes na dinâmica sedimentar e no padrão geoquímico, bem como, que a MOT apresenta fontes mistas associadas
à influências antrópicas sendo favorável ao acúmulo de poluentes, tornando-o indispensável na avaliação de impactos ambientais que a região está submetida.

Palavras-chave: Estuário. Matéria orgânica. Fósforo sedimentar. Isótopos de carbono e nitrogênio.

ABSTRACT

This research aims to study the spatial, seasonal and interannual variability of sedimentary and geochemical processes of a densely urbanized tropical estuary (Capibaribe estuary-PE). Surface sediments were sampled from 2010 to 2013 and 2015 to 2017 with a “Van-Veen” sampler, totaling 136 samples, being that 4 were samples in the Internal Continental Shelf (ICS) in the first two years. Grain size analyzes were performed; total organic matter (TOM) and calcium carbonate (CaCO3) content; C and N elemental analyzes, C/N ratios and carbon (δ13C) and nitrogen (δ 15N) isotopes ratios. The Trophic State Index and sedimentary phosphorus concentrations were determined. Seasonally and spatially, the sedimentary and geochemical dynamics of the estuary exhibited two behaviors during the rainy season: (i) increment of sandy sediments of terrestrial river source, usually deposited in the main river channel; and (ii) fines deposition in the lower estuary region. For dry periods, the fine sedimentation and organic matter increased in the middle estuary, higher percentages of sandy sediments of marine source and increase in carbonate values in the lower estuary. The increase in MOT content in the middle estuary interfered with marine carbonate production, reducing its concentrations and its distribution throughout the system. Dredging has changed the annual sedimentary pattern. In 2012 and 2013, an increase of mud percentages was recorded. However, the sandy predominance was registered in remaining years of study. The largest contribution of organic carbon and total nitrogen occurred in the dry period, associated with fine sedimentation. The C/N ratios values allowed to characterize the estuary as an environment of MOT of mixed sources in the dry periods and the rainy periods registered MOT of continental sources. According to the δ13C ratio, the MOT showed a continental trend with occurrences of marine sources in 2010. In 2011 showed tendency of marine source with occurrences of continental sources. The δ15N ratio indicated marine origin for the rainy periods and in the driest months recorded terrestrial, natural and anthropic source, with strong evidence of pollution from domestic effluents and for predominating in hypertrophic conditions along years. High MOT contents inhibited phosphorus adsorption in sediments. However, high phosphorus concentrations indicate high levels of contamination, exposing warning values throughout the system, and a concentration 8 times higher than the value allowed by CONAMA, PT > 2000 mg.kg-1. Finally, this study concluded that the increasing urban expansion, the changes in the estuary geomorphology and the increase of domestic and industrial effluents, added to the rainfall and dredging operations were determinant factors in sedimentary dynamics and geochemical pattern, as well as , that the MOT showed mixed sources associated with anthropic influences and is favorable to the accumulation of pollutants, making it indispensable in the assessment of environmental impacts that the region is subjected.

Keyword: Estuary. Organic matter. Sedimentar phosphorus. Carbono and nitrogen isotopes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo 23

Figura 2- (A) Mapa de vegetação do litoral sul de Pernambuco e (B) Vegetação da Região Metropolitana do Recife 27

Figura 3- Unidades de análise na bacia hidrográfica do rio Capibaribe. Fonte: Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe 28

Figura 4- Mapa geológico do Recife 31

Figura 5- Mapa Batimétrico do Estuário do Rio Capibaribe 34

Figura 6- Uso e ocupação do solo em toda a bacia do rio Capibaribe 36

Figura 7- Distribuição espacial dos pontos amostrados ao longo do estuário do rio Capibaribe (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 e E12) e na plataforma continental interna (PCI1, PCI2, PCI3 e PCI4) 37

Figura 8- Arranjo amostral da pesquisa, n:136 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Profundidades (m) dos pontos amostrados ao longo do estuário do Rio Capibaribe-PE 38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Período chuvoso de 2010
A1CF	Amostra congelada armazenada no freezer
A1CTA	amostra congelada armazenada em temperatura ambiente
A1SF	Amostra seca armazenada no freezer
A1STA	amostra seca armazenada em temperatura ambiente
AC	Amostra congelada
ACP	Análise de componentes principais
AS	Amostra seca
B	Período seco de 2010
BHRC	Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe
BPE	Bacia de Pernambuco
BPN	*Bio Production Number*
C	Período chuvoso de 2011
C/N	Razão elementar de carbono e nitrogênio
C/P	Razão Carbono por Fósforo
CaCO3	Carbonato de Cálcio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
COT	Carbono orgânico Total
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
D	Período seco de 2011
DOCEAN	Departamento de Oceanografia
E	Estação de coleta
H2O2	Peróxido de Hidrogênio
hab.	Habitantes
HCL	Ácido clorídrico

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABOGEO	Laboratório de Oceanografia geológica
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica sedimentar
MOT	Matéria orgânica total
NT	Nitrogênio total
PCI	Plataforma continental interna
PDB	*Belemnitella americana* da Formação *Peedee*
PE	Pernambuco
PI	Fósforo inorgânico
PO	Fósforo orgânico
PPGEOC	Programa de Pós-Graduação em Geociências
Projetec	Projeto técnico
PT	Fósforo Total
PTA	Padrão a temperatura ambiente
PTF	Padrão armazenado no freezer
RMR	Região Metropolitana do Recife
SMT	*Standards, measurements and testing programme*
SP	São Paulo
Spp	Espécie
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco
UA1	Unidade de Análise 1
UA2	Unidade de Análise 2
UA3	Unidade de Análise 3
UA4	Unidade de Análise 4
$\delta^{13}C$	Razão isotópica estável dos carbonos 13/12
$\delta^{15}N$	Razão isotópica estável dos nitrogênios 15/14

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcento
’	Minutos
<	Menor que
>	Maior que
≤	Menor ou igual que
°C	Graus Celsius
$\mu mol\ L^{-1}$	Micro mol por litro
‰	Partes por mil
Ar	Ar atmosférico
C	Carbono
H2O2	Peróxido de Hidrogênio
HCl	Ácido clorídrico
Kg	Quilos
Km	Quilometro
Km^2	Quilômetros quadrados
m	Metros
m/s	Metros por segundo
m^3/s	Metros cúbicos por segundos
mg/L	Miligramas por litro
Mm	Milímetro
mg/g^{-1}	Miligrama por grama
N	Nitrogênio
nº	Número
NT	Nitrogênio total
º	Graus
O	Oxigênio
r	Correlação de Pearson igual
s	Segundos
δ	Composição isotópica relativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 OBJETIVOS 21
2.1 OBJETIVO GERAL 21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21
3 MATERIAIS E MÉTODOS 22
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 22
3.1.1 Climatologia 23
3.1.2 Vegetação 24
3.1.3 Recursos Hídricos 28
3.1.4 Parâmetros físico-químicos e nutrientes da água 29
3.1.5 Geologia da Bacia do Rio Capibaribe 30
3.1.6 Sedimentologia atual do estuário do Rio Capibaribe 32
3.1.7 Geomorfologia 32
3.1.8 Batimetria do estuário do Rio Capibaribe 33
3.1.9 Parâmetros oceanográficos 35
3.1.10 Uso e Ocupação do solo 35
3.2 AMOSTRAGEM DE CAMPO 37
3.3 ANÁLISE EM LABORATÓRIO 39
3.3.1 Análises granulométricas 39
3.3.2 Análise de conteúdo de matéria orgânica total (MOT) e carbonato de cálcio (CaCO3) 39
3.3.3 Análise do C e N elementares, das razões isotópicas de carbono (δ13C) e nitrogênio (δ15N) da matéria orgânica sedimentar. 39
3.3.4 Análise das razões elementares C/N 40
3.3.5 Estado Trófico do Sistema Estuarino 40
3.3.6 Fracionamento do fósforo sedimentar 40
3.4 ANÁLISE DOS DADOS 41
4 VARIABILIDADE SEDIMENTOLÓGICA E GEOQUÍMICA EM UM SISTEMA ESTUARINO TROPICAL SOB FORTE INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NO NORDESTE BRASILEIRO (RIO CAPIBARIBE-PE) 42

5 PROCESSOS DE SEDIMENTAÇÃO ESTUARINA: UMA ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, NORDESTE BRASILEIRO **75**

6 FRACIONAMENTO INTERANUAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DENSAMENTE URBANIZADO (NORDESTE, BRASIL) **89**

7 CONCLUSÃO **113**

REFERÊNCIAS **115**

APÊNDICE A - TESTES QUÍMICOS PARA VALIDAÇÃO DA EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE FÓSFORO SEDIMENTAR **138**

1 INTRODUÇÃO

Os estuários são corpos sedimentares, instáveis, localizados na zona costeira, sob influência de domínios continentais e marinhos. Podem ser definidos, de acordo com sua sedimentação e alguns processos hidrodinâmicos, como parte de um sistema de vales inundados, voltados para o mar, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, por ondas e processos fluviais (Dalrymple; Zaitlin; Boyd, 1992). Estes sistemas estuarinos estão localizados entre o limite interno das fácies de maré e o limite oceânico das fácies costeiras. Geologicamente, são feições efêmeras, pois suas áreas de deposição sedimentar e a morfologia são reflexos dos processos atuantes no sistema estuarino (Perillo, 1995; Veronez; Bastos; Quaresma, 2009). Com relação aos processos deposicionais são considerados dinâmicos, onde os mecanismos de erosão, transporte e deposição, em geral apresentam-se curtos, na escala temporal quando comparados com outros ambientes não sedimentares (Reading; Collinson, 1996).

Por apresentarem essa característica dinâmica, a distribuição e composição de sedimentos recentes em estuários resultam de relações complexas entre os processos geológicos e a hidrologia da região. Do total de sedimentos lixiviado do continente para o oceano, via estuários, 85,9% são de origem fluvial, representando um importante papel na sedimentação costeira (Dias, 2004). Estes depósitos sedimentares costeiros são capazes de armazenar características de agentes atuantes, podendo ser utilizadas como ferramentas para entender os processos que caracterizam o ambiente, bem como analisar o nível de influência antrópica direcionado ao mar (Fairbridge, 1989). A sedimentação nos sistemas estuarinos permite conhecer um pouco mais sobre a história/evolução da terra, ajudando a interpretar a sedimentologia, geoquímica e a geomorfologia de sistemas estuarinos, bem como a origem, energia hidrodinâmica, erosão, transporte e acumulação dos sedimentos estudados (Miranda; Castro; Kjerfve, 2002; Suguio, 2003; Barcellos; Furtado, 2006).

Estes ecossistemas costeiros apresentam uma grande importância ecológica e econômica, tendo em vista que são os principais berçários de diversos organismos, e neles estão localizadas 60% das grandes cidades ao redor do mundo e 40% da população do planeta (Ciesin, 2014; Miranda; Castro; Kjerfve, 2002). Por apresentarem essa porcentagem da população mundial vivendo nesses ambientes, estes sistemas estão sofrendo modificações geológicas, químicas, físicas e biológicas de origem antrópica. Estes ambientes deposicionais funcionam como barreiras biogeoquímicas, retendo as partículas em suspensão e os poluentes orgânicos e inorgânicos adsorvidos a estas (Schubel; Carter, 1984; Tolosa *et al*., 2013).

Neste aspecto, o estudo dos parâmetros granulométricos e sua distribuição em estuário são importantes na compreensão do comportamento quanto às características sedimentares e no auxílio para identificar possíveis zonas de acúmulos de poluentes. Estas zonas, geralmente, estão associadas a partículas finas. Os sedimentos mais finos são primordiais nestes estudos, devido à grande capacidade de adsorção das argilas. Estes sedimentos têm o comportamento comumente associado às substâncias como matéria orgânica, alguns poluentes e outros contaminantes oriundos de fontes domésticas, industriais e até mesmo de atividades agrícolas (Barcellos; Furtado, 2006; Veronez; Bastos; Quaresma, 2009; Gaspar *et al*., 2013; Oliveira *et al*.,2014; Maciel *et al*., 2016).

O estudo da matéria orgânica sedimentar (MO), assim como o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) fornecem uma variedade de indicadores, ou representantes, de registros da influência dos ambientes marinhos e continentais (Meyers, 1997). A matéria orgânica apresenta uma relação inversa com o teor de carbonato de cálcio, seus altos teores atuam como diluidor para o fluxo constante de material carbonático em sedimentos (Hays; Perruzza, 1972). A análise desses dois parâmetros, além de inferir o influxo terrígeno, também são indicadores vitais para a fonte de carbono orgânico em sedimentos marinhos. O carbono orgânico pode ser de origem marinha ou detrítica, ou de origem mista com o domínio de uma fonte sobre a outra, dependendo da deposição de vários fatores (Paropkari *et al*., 1991)

Os tipos de informações fornecidas pelos teores e volumes de matéria orgânica de sedimentos são diversos. Em áreas estuarinas a MO desempenha um importante papel, apresentando considerável importância na geoquímica ambiental, estes ecossistemas costeiros representam uma zona de transição ecológica exercendo uma importante função de conexão entre ambientes marinhos e terrestres e estão sendo constantemente agredidos por várias atividades antrópicas como o desenvolvimento urbano desordenado, indústrias, turismo e outros (Clark *et al*., 1998; Gazeau *et al*., 2014). Essas ações têm contribuído para o aumento na quantidade de efluentes urbanos e industriais, assim como no incremento da quantidade de lixo sólido, sem o tratamento adequado. Como consequência imediata desses fatos registra-se o aumento da matéria orgânica e a liberação de uma série de elementos tóxicos nesses ambientes (Everton Filho, 2009).

Alguns fatores geoquímicos, como os isótopos estáveis, auxiliam na interpretação de indicadores elementares, isotópicos e moleculares de fonte de matéria orgânica, contribuindo de forma muito eficiente para os estudos ambientais. Sua composição isotópica varia de forma previsível, conforme o elemento se move através dos diversos compartimentos de um ecossistema, passando a ser utilizado como traçadores ambientais (Martinelli *et al*., 2009;

Meyers, 1997; Norman; Werkman, 1943; Urey, 1947). Os sedimentos marinhos refletem a composição isotópica de sua fonte de carbono (Martinelli *et al*., 2009;). No caso dos oceanos, a principal fonte é o fitoplâncton, nas regiões costeiras, além do fitoplâncton, há a influência do material terrestre erodido, através da matéria orgânica, que chega ao oceano principalmente pelos rios (Thornton; Mcmanus, 1994).

Outro elemento que compõe a matéria orgânica é o fósforo. Esse elemento ocorre em ambientes da superfície terrestre, na forma de ortofosfato, sendo um nutriente essencial e imprescindível para a síntese orgânica no ambiente marinho (Chester; Riley, 1978; Barcellos, 2005; Barcellos *et al*., 2005a; Barcellos *et al*., 2005b; Berbel; Braga, 2008; Gaspar *et al*., 2013; Nürnberg, 1984). Os maiores reservatórios de fósforo são as rochas fosfáticas sedimentares, formadas em remotas eras geológicas. A erosão dessas rochas libera os fosfatos e, assim, estes são introduzidos nos ecossistemas aquáticos por meio da lixiviação do solo, atingindo posteriormente os cursos fluviais e estuarinos até os oceanos (Barcellos; Furtado, 2006). Grande parte desse fósforo fica indisponível, adsorvido nos sedimentos estuarinos (Everton Filho, 2009).

O fósforo apresenta um ciclo essencialmente endógeno, sem um componente importante na atmosfera. O ciclo do fósforo ocorre entre rochas, solos, sedimentos e seres vivos. Esse ciclo é peculiar quando comparado aos grandes ciclos biogeoquímicos dos nutrientes (como carbono e nitrogênio), uma vez que o grande reservatório de fósforo são as rochas e não o ar (Odum; Mcivor; Smith, 1982). Os sedimentos possuem uma participação ativa nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, atuando na remobilização, retenção e na biodisponibilidade dos mesmos, nos processos de oxidação da matéria orgânica e nos processos de adsorção e o seu teor pode ser utilizado como parâmetro na avaliação da entrada deste nutriente nos corpos hídricos, através de fontes naturais, efluentes industriais, domésticos e agrícolas, além de atividades ligadas ao crescente aumento populacional (Rao; Berner, 1997; Barcellos *et al*., 2005b; Manahan, 2005; Gaspar *et al*., 2013).

Neste contexto, a partição geoquímica do fósforo total, bem como o fracionamento destas porções em inorgânica e orgânica, oferece um perfil mais completo da dinâmica sedimentar deste elemento no ecossistema estuarino. A fração orgânica (PO) é resultado de diferentes fontes naturais (animal e vegetal), formada principalmente por processos biológicos (efluentes de animais, esgoto doméstico e restos de alimentos). A fração inorgânica (PI) (origem antrópica) é resultante do uso de fertilizantes químicos nos solos ou pelas emissões de efluentes urbanos (produtos de limpeza e esgotamento sanitários sem tratamento) (Spivakov; Maryutina;

Muntau, 1999; Berbel; Braga, 2008). Sendo assim, a somatória destas frações determina a concentração total de fósforo no sedimento.

Por fim, o emprego da MOS e seus elementos como indicadores ecológico-ambientais em um sistema estuarino que está sujeito, há décadas, a uma forte pressão antrópica, reveste-se de grande importância para um diagnóstico do grau de degradação ambiental local. Além disso, a presente pesquisa fornecerá também subsídios para a criação de um banco de dados sedimentológicos e geoquímicos em diferentes escalas espaço-temporais, com vistas a oferecer suporte para futuros estudos na área, assim como importantes informações científicas para os gestores do município do Recife. Neste sentido, este trabalho tem como hipótese que as condições meteoceanográficas sazonais e interanuais, associadas à ação antrópica, interferem na sedimentação e geoquímica das espécies de fósforo no estuário do rio Capibaribe-PE.

2 OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em objetivos gerais e específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Com o intuito de esclarecer a hipótese proposta no trabalho, esta pesquisa tem como objetivo estudar a variabilidade espacial, sazonal e interanual dos processos sedimentares, da origem da matéria orgânica e das frações de fósforo sedimentar em um estuário tropical densamente urbanizado (Estuário do Rio Capibaribe-PE).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Analisar a variabilidade (espacial, sazonal e interanual) dos parâmetros sedimentológicos do estuário do rio Capibaribe;

b) Estudar a distribuição (espacial, sazonal e interanual) do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e da matéria orgânica (MO) do estuário;

c) Determinar a origem da matéria orgânica sedimentar por meio das razões elementares C/N, bem como, caracterizar a composição isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) e nitrogênio ($\delta^{15}N$);

d) Avaliar os impactos ambientais de origem antrópica no estuário por meio da matéria orgânica sedimentar e caracterizar o estado trófico do sistema;

e) Compreender e analisar a distribuição espacial, sazonal e interanual das diferentes frações do fósforo sedimentar ao longo do estuário.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Estuário do rio Capibaribe. A seguir será descrito os materiais e métodos utilizados para realização desta pesquisa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O litoral do estado de Pernambuco está localizado na região nordeste do Brasil e tem aproximadamente 187 km de extensão, abrangendo uma área de 4.448 km^2, onde está inserido o estuário do Rio Capibaribe (CPRH, 2008).

No entorno da área estuarina está localizado a Região Metropolitana do Recife (RMR) a qual é composta por 13 municípios: Abreu e Lima; Cabo de Santo Agostinho; Camaragibe; Igarassu; Ipojuca; Ilha de Itamaracá; Itapissuma; Jaboatão dos Guararapes; Moreno; Olinda; Paulista; Recife e São Lourenço da Mata. Estes distritos exercem grande pressão antrópica sobre o estuário, agrupando aproximadamente 31% de toda a população pernambucana, em uma área que corresponde a cerca de 3% de todo o estado (IBGE, 2010). Silva (2003) classificou o baixo rio Capibaribe do tipo retilíneo e meandrante, de acordo com a classificação fluvial de (Christofoletti, 1980). A vazão média anual do rio Capibaribe é de 20,05 m^3/s, com mínima no mês de janeiro (0,2 m^3/s), e máxima no mês de junho (125 m^3/s) (Projetec, 2010; Braga; 2015). Segundo Schettini *et al*. (2016) as velocidades de correntes de marés apresentaram valores variando de -0,58 a 0,63 m/s.

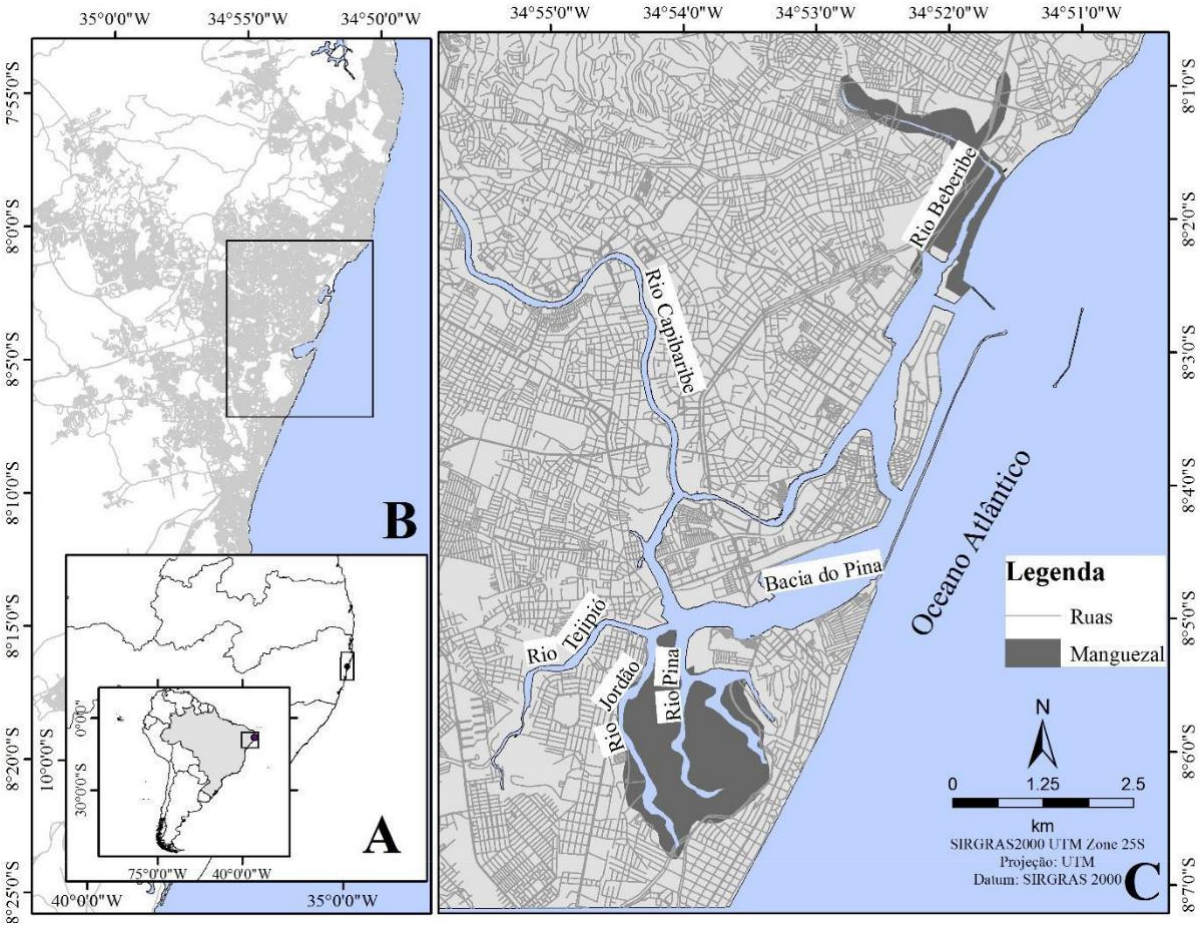
Sua bacia hidrográfica está totalmente inserida no estado de Pernambuco, representando a maior drenagem costeira do estado, correspondendo a 7% da área total, aproximadamente 7.720 km² (Bione *et al*., 2009). O rio nasce a uma altitude aproximada de 1000 m, percorre cerca de 250 km de extensão, passando por 43 municípios, transportando grande parte dos efluentes produzidos pela população local até a sua foz no oceano Atlântico (Monteiro *et al*., 2011). Segundo a PROJETEC (2010), esses efluentes correspondem a aproximadamente 1.521 toneladas/dia, considerando as parcelas da geração de resíduos provenientes das populações urbanas e rurais.

Antes de atingir a planície costeira, o Rio Capibaribe atravessa uma zona do Terciário com sedimentos avermelhados da Formação Barreiras, ricos em material fino (Monteiro *et al*., 2011).

Na planície, a morfologia do Rio Capibaribe é muito irregular refletindo uma forte influência do sistema de falhas. Em um momento o rio bifurca-se em dois braços: (i) O braço

Sul, desembocando na Bacia do Pina, juntamente com os rios Tejipió, Jordão e Pina; e (ii) o braço norte que penetra na bacia de Santo Amaro, o qual se encontra com o Rio Beberibe e, então, deságua no mar (Barcellos *et al*., 2017; Oliveira, 2014; Xavier *et al*., 2016) (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: A Autora, 2019

3.1.1 Climatologia

Segundo a classificação climática de Köppen a região metropolitana do Recife apresenta predomínio de clima tropical úmido, com estação seca no período de setembro a março e estação chuvosa de abril a agosto (Silva, 2003). A pluviometria anual apresenta média superior a 2.000 mm, registrando chuvas durante todo o ano, com a mínima no período seco (aproximadamente 80 mm) e as maiores no período chuvoso (aproximadamente 270 mm) (Medeiros; Kjerfve, 1993; CPRH, 2008). A temperatura média anual é de 25,5 ºC, com variação média anual de 21,9 ºC a 29,1 ºC (INMET, 2015). Os ventos alísios de sudeste e nordeste são predominantes ao longo do ano, com velocidade média de 3,2 $m.s^{-1}$. Os ventos são mais intensos

no período chuvoso, registrando 4,0 $m.s^{-1}$, enquanto no período seco registram média de 2,2 $m.s^{-1}$ (Medeiros; Kjerfve, 1993).

3.1.2 Vegetação

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe, das nascentes dos rios que a compõem até a sua foz, em Recife, percorre paisagens incluídas nos biomas Caatinga e Mata Atlântica, onde se observa uma grande variedade de solos e relevo, resultando em elevada diversidade de ambientes (SRH 2010).

A Mata Atlântica compreendia 17 estados, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, abrangendo todo o litoral Pernambucano. Esta floresta se desenvolveu em grande diversidade de climas, solos e relevo (Câmara, 1991) sendo reduzida a fragmentos florestais, restando hoje apenas 5% de sua cobertura original (SOS Mata Atlântica, 2017). Na região Nordeste do Brasil o desmatamento da composição vegetal original apresenta uma situação ainda mais crítica, dos 5,8%, atualmente temos aproximadamente 1% da cobertura original (Coimbra-Filho; Câmara, 1996; Almeida *et al*., 2006).

Apesar dessa fragmentação, a Mata Atlântica apresenta-se com diversos estratos fisionômicos atuando como depósito de matéria orgânica, sendo importante na formação dos solos e no controle dos efeitos da erosão (Almeida *et al*., 2006). Andrade-Lima (2007) apresentou quatro zonas fitogeográficas para a composição florística da Mata Atlântica localizadas no estado de Pernambuco: litoral, mata, caatinga e savana. O mesmo autor ainda subdivide a primeira em quatro subzonas com características fisionômicas bem definidas e composição florística própria, sendo elas subdivididas em: marítima, praia, restinga e mangue. Levando em consideração essa grande diversidade das áreas litorâneas, diversos tipos de vegetação com solos característicos estão presentes nessas regiões, sendo caracterizadas como um local de transição entre ecossistema marinho e dulcícola, as quais englobam várias unidades ambientais (Martins, 2017).

Para a SUDENE (1993 apud Manso *et al*., 2006) toda zona costeira de Pernambuco apresenta formações subperenifólia e litorâneas. A primeira é uma formação densa, alta (20 - 30 m), rica em espécies, e que cada vez mais cede lugar à cultura da cana-de açúcar. Essa formação pode ser encontrada nas regiões de tabuleiro com solos areno-argilosos, já profundamente devastadas pelo homem. Por sua vez, as formações litorâneas abrangem uma quantidade significativa de tipos florestais: floresta perenifólia de restinga, manguezais, praia e os campos de várzea (flúvio-lagunar). A floresta perenifólia de restinga foi descrita sob a

designação de floresta estacional perenifólia de restingas e terraços litorâneos, está associada aos terraços pleistocênicos (Manso *et al*., 2006). Ocorre em locais mais próximos ao oceano, pois recebe maior insolação, influência dos ventos oceânicos e é onde há maior salinidade. Advêm normalmente associadas aos terraços arenosos da zona costeira, apresentando-se como uma formação pouco densa, com árvores de troncos finos.

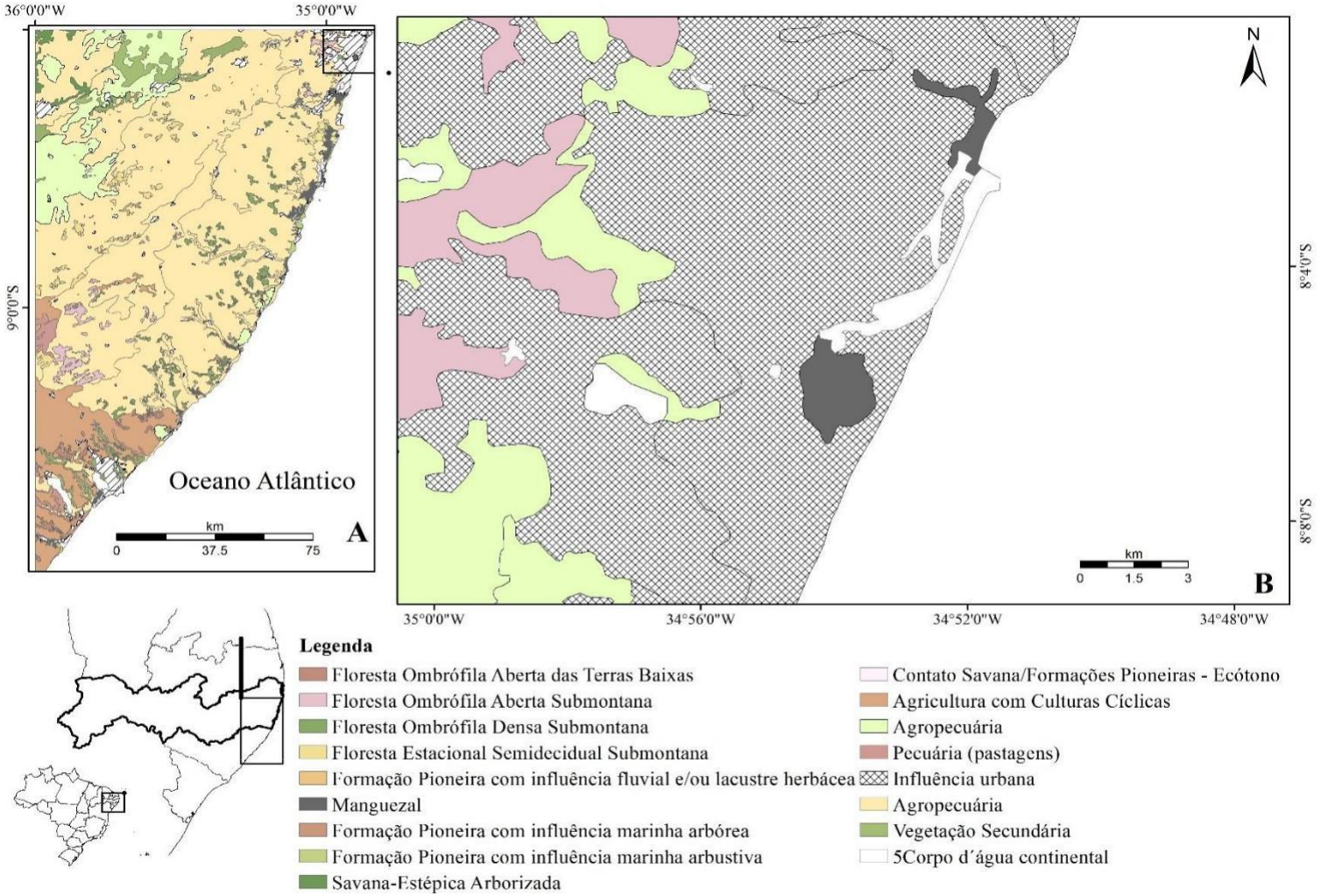
Nas extensões sobre influência direta das marés, desenvolve-se uma vegetação típica de solos orgânicos classificados como manguezais. Nessa área predomina a *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, e *Avicennia schaueriana*. Esta vegetação está localizada em áreas de contato com águas estuarinas, de baixa energia hidrodinâmica e alta sedimentação de sedimentos finos (Xavier, 2017) são grandes estabilizadoras do substrato e o seu sistema de raízes proporciona abrigo para uma fauna muito rica, adaptada às condições do estuário com espécies de grande valor comercial (Manso *et al*., 2006). As características do sedimento apresentam ampla variação entre os diferentes manguezais sendo fortemente refletidas na paisagem local do sistema de mangue.

O manguezal é um ecossistema dinâmico altamente influenciado pela taxa de sedimentação, fluxo de água doce, oscilação de marés e mudanças no nível do mar os quais influenciam o crescimento e a sobrevivência deste ecossistema. Dentro de diferentes condições de habitat, existem espécies que se adequam às condições ambientais específicas locais, sendo a distribuição das espécies de mangue influenciada por gradientes que respondem direta ou indiretamente a padrões geomorfológicos e processos físicos particulares. Além disso, a vegetação de manguezais pode mudar através do tempo, através da erosão ou aumento do relevo (Woodroffe, 1992) podendo encontrar zonação nos manguezais. A zonação consiste na distribuição da flora obedecendo a gradientes ambientais de salinidade, topografia e hidrologia, entre outros, bem como mudanças na geomorfologia e fisiologia da maré (Lugo, 1987; Snedaker, 1982).

Quanto aos manguezais do estuário do Capibaribe estão em elevado grau de degradação, sendo aterrados para oferecerem espaços à cidade de Recife, restando estreitas faixas em áreas inteiramente urbanizadas, resultados da conservação ambiental oriundo de replantios, onde se encontram principalmente *Laguncularia racemosa* e *Avicennia spp* (SRH, 2010; Martins, 2017). Os campos de várzeas úmidas e alagadas ocorrem ao longo dos cursos d’água, brejos e áreas de acumulação de água doce. Essas formações são densas e predominam espécies de *Gramineae* e *Cyperaceae* (Manso *et al*., 2006).

No entanto, atualmente, temos toda essa vegetação original comprometida pela expansão do território urbano, principalmente na região litorânea. A figura abaixo resume bem a cobertura vegetal da região metropolitana de Recife (Figura 2).

Figura 2- (A) Mapa de vegetação do litoral sul de Pernambuco e (B) Vegetação da Região Metropolitana do Recife.

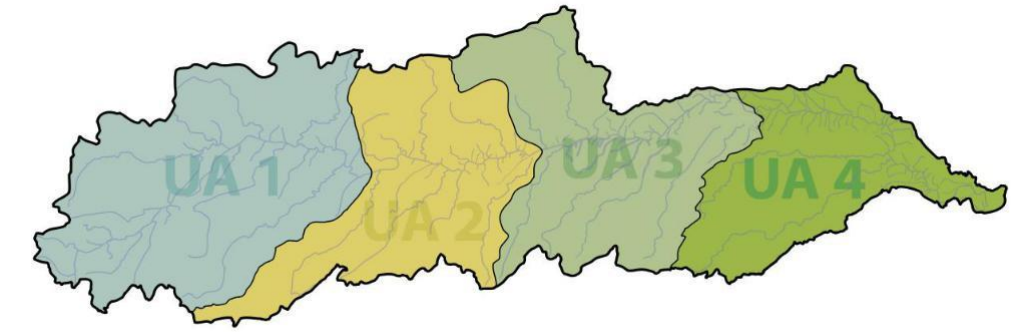


Fonte: Xavier, 2017.

3.1.3 Recursos Hídricos

Em um estudo Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe realizado pela Secretaria de Recursos Hídricos de Recife (2010), foi considerado a regionalização da Bacia em quatro Unidades de Análise: UA1, UA2, UA3, e UA4 (Figura 3). A Região Metropolitana de Recife (RMR), está inserida na UA4, é cortada por uma vasta rede de rios e canais, com destaque para as bacias dos rios Capibaribe e um sistema de drenagem, composto por uma série de cursos d'água secundários ou canais, afluentes ou interligados à drenagem principal. Suas águas possibilitam inúmeros usos, como o abastecimento público, pesca, extrativismo, turismo, lazer, mas também recepção de efluentes domésticos, industriais e agroindustriais (Oliveira, 2014). Capibaribe é o 2º rio mais extenso que deságua na costa de Pernambuco, apresentando cerca de 240km de extensão e com uma média de fluxo de 19m^3.s-^{1}.

Figura 3- Unidades de análise na bacia hidrográfica do rio Capibaribe.



Fonte: SRH, 2010

A potencialidade do recurso hídrico de uma bacia hidrográfica está relacionada com o aproveitamento integral de sua água, sendo esse recurso a vazão média de um longo período de tempo. As disponibilidades dos recursos hídricos são avaliações dos recursos hídricos utilizáveis, parcela máxima dos recursos potenciais, que se pode utilizar devido a restrições físicas e econômicas e disponibilidade existente no momento. A UA4, onde está inserido o estuário do Rio Capibaribe, apresenta três importantes tipos de aquíferos: intersticial, aluvial e fissural com potencialidades máximas de aproximadamente 71($10^6 m^3$/ano).

Atualmente, as condições ambientais do rio Capibaribe são preocupantes. As principais fontes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas estão relacionadas ao lixo urbano e industrial. Esse rio encontra-se hoje poluído por resíduos sólidos e líquidos, orgânicos e

inorgânicos, industriais e agrícolas, além de apresentar altas taxas de assoreamento (Zanardi-Lamardo *et al*., 2016). De acordo com a CPRH (2007) a bacia do rio Capibaribe apresenta uma carga poluidora orgânica correspondente a 32,4 t.DBO5.d^{-1}, o que corresponde a 95,7% de efluentes domésticos e 4,3% de efluentes industriais (Noriega, 2010).

3.1.4 Parâmetros físico-químicos e nutrientes da água

A salinidade varia de 0,14 na parte mais interna do estuário, tanto na baixa-mar como na preamar, em coletas feitas no fundo, a 33,92 na foz, durante a preamar, no fundo (Medeiros, 2007). Travassos (1991) e Travassos; Macedo; Koening, (1991) encontraram salinidade variando de 0,05, na superfície, durante a baixa-mar, a 36, em coletas no fundo na preamar. Segundo estudos deste mesmo autor, a coluna d'água foi bem estratificada durante a preamar, havendo uma maior concentração no fundo do que na camada superficial. No período seco, os valores de salinidade são maiores, devido à maior taxa de evaporação e menor precipitação (Neto, 2008). Entretanto, as taxas de salinidade nesse estuário variam de condições limnéticas a eualinas (Teixeira, 2007). Em relação à distribuição espacial da salinidade, o estuário do rio Capibaribe apresentou variação de 0,14 a 33,92 do alto ao baixo estuário, respectivamente (Nascimento *et al*., 2003).

A partir da distribuição superficial da salinidade, Batista (2017) classificou os limites do baixo, médio e alto estuário do rio Capibaribe. O baixo estuário apresenta o predomínio das condições marinha, indicado pela maior salinidade, localizado da desembocadura até 3 km. O médio estuário, caracterizado pela mistura entre as águas continentais e marinhas, está localizado na faixa entre 3 e 17 km ao longo do rio. A partir deste ponto para montante é caracterizado o alto estuário, com característica predominante de água continental, porém ainda influenciado pelos efeitos da maré. Embora estes limites variem em função da descarga fluvial, esses limites representam a média temporal e o gradiente entre período chuvoso e seco.

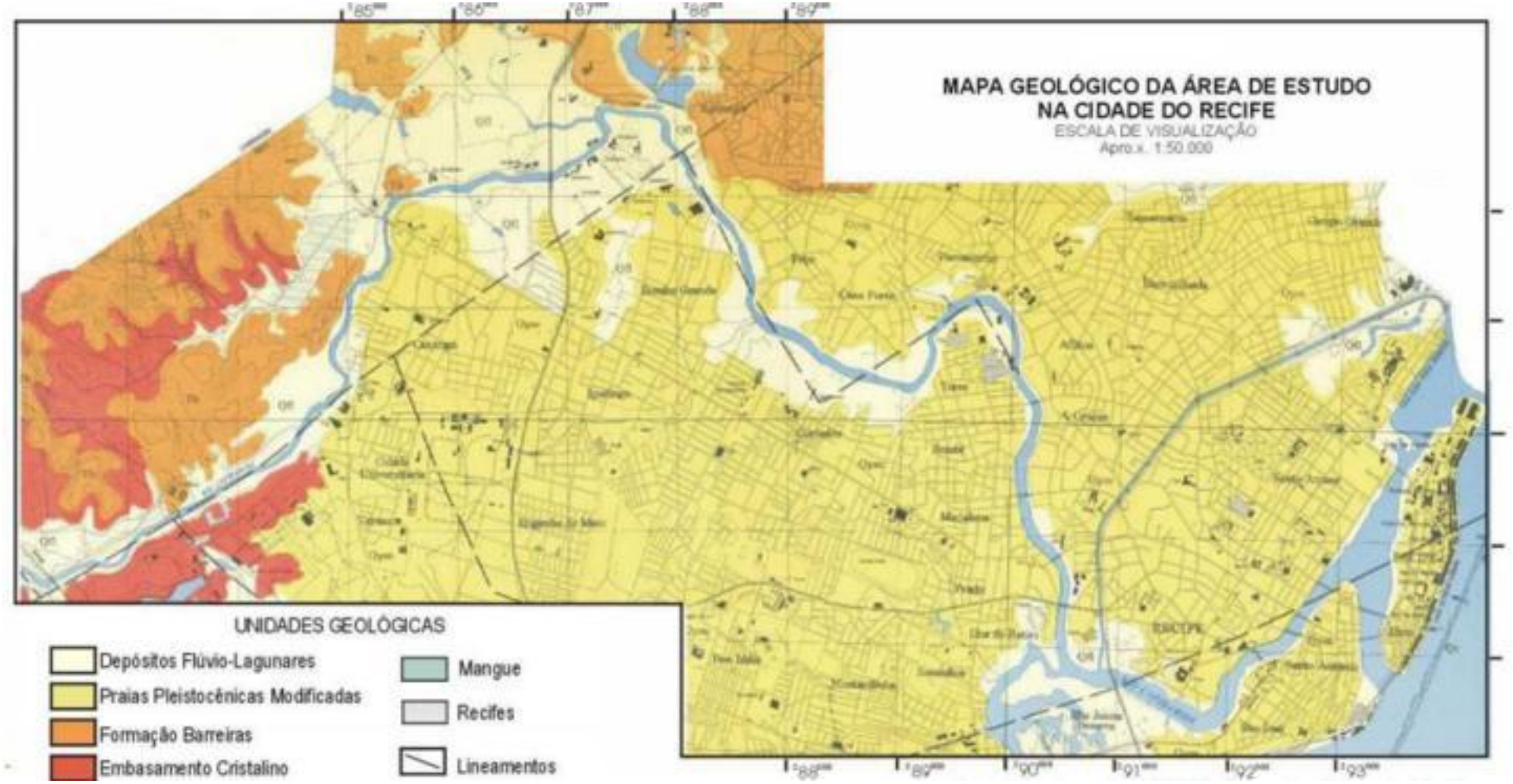
Quanto à distribuição de nutrientes, o sistema estuarino é caracterizado como uma área altamente eutrófica, com alta biomassa fitoplanctônica, pouca transparência na coluna d'água, baixas concentrações de oxigênio dissolvido, além de altas concentrações de compostos nitrogenados (nitrogênio total – 440,1 µmol. L^{-1}; nitrogênio orgânico dissolvido – 439,4 µmol.L^{-1}; nitrato - 54,6 µmol L^{-1}; amônia - 6,5 µmol L^{-1} e para nitrito - 14,3 µmol L^{-1}) e fosfatados (fósfato total - 40,32 µmol L^{-1}; fosfato - 20,38 µmol L^{-1} e fósforo orgânico - 19,94 µmol L^{-1}). A elevada concentração de nutrientes está relacionada ao aporte doméstico

despejados nas águas do estuário, bem como fontes oriundas também de efluentes agrícolas, da pecuária e de escoamento de águas pluviais urbanas (Medeiros, 2007; Neto, 2008; Anjos *et al*., 2012; Noriega *et al*., 2013; Batista, 2017). Zanardi-Lamardo *et al*. (2016) afirmaram que essa característica de águas eutróficas vem sendo registradas desde 1996 e foram associadas a presença de atividades antrópicas, principalmente pela entrada de efluentes urbanos, industriais, processos de lixiviação de solos contaminados.

3.1.5 Geologia da Bacia do Rio Capibaribe

Na área em estudo ocorrem rochas cristalinas e sedimentares, as quais estão subdivididas em três domínios: (i) domínio das Rochas Cristalinas, de idade Pré-Cambriana que ocorrem em uma pequena porção da região; (ii) domínio das Bacias Sedimentares da Margem Continental, de idade Cretácea, com afloramentos contínuos e faz parte das bacias sedimentares Pernambuco, Paraíba e Sub-Bacia do Cabo; e (iii) os domínios de sedimentos e coberturas que recobrem indistintamente rochas cristalinas e sedimentares. Este terceiro domínio constitui dois grupos: (a) a Formação Barreiras, no baixo curso do Rio, de idade Terciária (Mio-Pliocênica), que forma a maior parte dos morros que circundam a planície costeira do Recife, representada por coberturas sedimentares dispersas, constituída de um pacote de sedimentos de origem fluvial, com fácies arenosas predominantes, além de camadas argilosas e siltosas de depósitos de baixa energia, que se intercalam; e (b) os sedimentos mais recentes inconsolidado, de idade Quaternária, que preenchem a própria planície, sendo representados por depósitos estuarinos e marinhos, depositados na planície costeira, e sedimentos fluviais nas calhas dos rios (Alheiros; Ferreira; Lima Filho, 1995; Oliveira, 2014; Srhe, 2014). Quanto à estrutura do relevo, a bacia hidrográfica do rio Capibaribe apresenta compartimentos morfoestruturais associados ao Planalto da Borborema, destacando-se maciços rochosos no alto e médio curso e, no baixo curso, tabuleiros planície costeira (Figura 4).

Figura 4- Mapa geológico do Recife.



Fonte: Alheiros *et al*., (1995).

3.1.6 Sedimentologia atual do Estuário do Rio Capibaribe

O estuário do rio Capibaribe é um ambiente deposicional de baixa energia submetido à forte influência de fontes terrígenas, antrópicas e marinha em diferentes porções do sistema durante a sedimentação (Marcondes, 2009; Oliveira, 2014). Esse sistema estuarino tem características de ser um retentor natural de sedimentos, entretanto durante os períodos chuvosos torna-se um exportador de sedimentos arenosos e lamas para a plataforma adjacente (Oliveira *et al*., 2014). É caracterizado como um ambiente estuarino confinado, assoreado, densamente urbanizado e com aporte perene de sedimentos finos, de composição siliciclástica e argilosa, com teores orgânicos altos de origem mista tendendo à continental (Oliveira *et al*., 2014). O sistema estuarino apresenta características de sedimentação diferentes entre os períodos chuvosos e secos: o período seco é caracterizado por uma sedimentação de granulação variando de silte muito fino a areia grossa com predominância de silte grosso. De acordo com a classificação textural de Shepard (1954) as fácies variaram de argila síltica a silte, com predominância de silte argiloso. Em relação às porcentagens das frações, o período seco variou de 1,34 a 98,58% de areia, 0,18 a 77,24% de silte e 0,00 a 67,11% de argila (Oliveira *et al*., 2014)

O período chuvoso se caracteriza por apresentar granulação variando de argila a areia média, com predominância de silte muito fino. De acordo com a classificação textural de Shepard (1954) as fácies variaram de argila a silte com predominância de argila síltica. Em relação às porcentagens das frações, o período chuvoso variou de 0,25 a 99,16% de areia, 0,13 a 93,25% de silte, e 0,16 a 76,17% de argila (Oliveira *et al*., 2014).

3.1.7 Geomorfologia

Segundo Pedrosa et. al. (1995) e CPRH (1998), a área de estudo apresenta quatro domínios geomorfológicos: o domínio cristalino, os tabuleiros costeiros, o modelado colinoso e a planície costeira. O domínio cristalino é caracterizado por apresentar um relevo colinoso com morfologia irregular e altimetria atingindo um pouco mais de 100m. Os tabuleiros costeiros são caracterizados por sedimentos da formação Barreiras com altimetria variando entre 40 e 100m. O modelado colinoso é caracterizado pela presença de colinas suaves de pequena extensão com altimetria entre 10 e 40m. Por fim a planície costeira, que é uma unidade geomorfológica com grande complexidade, representa um ambiente de transição entre os processos marinhos e continentais. A região estuarina do rio Capibaribe está inserida na planície

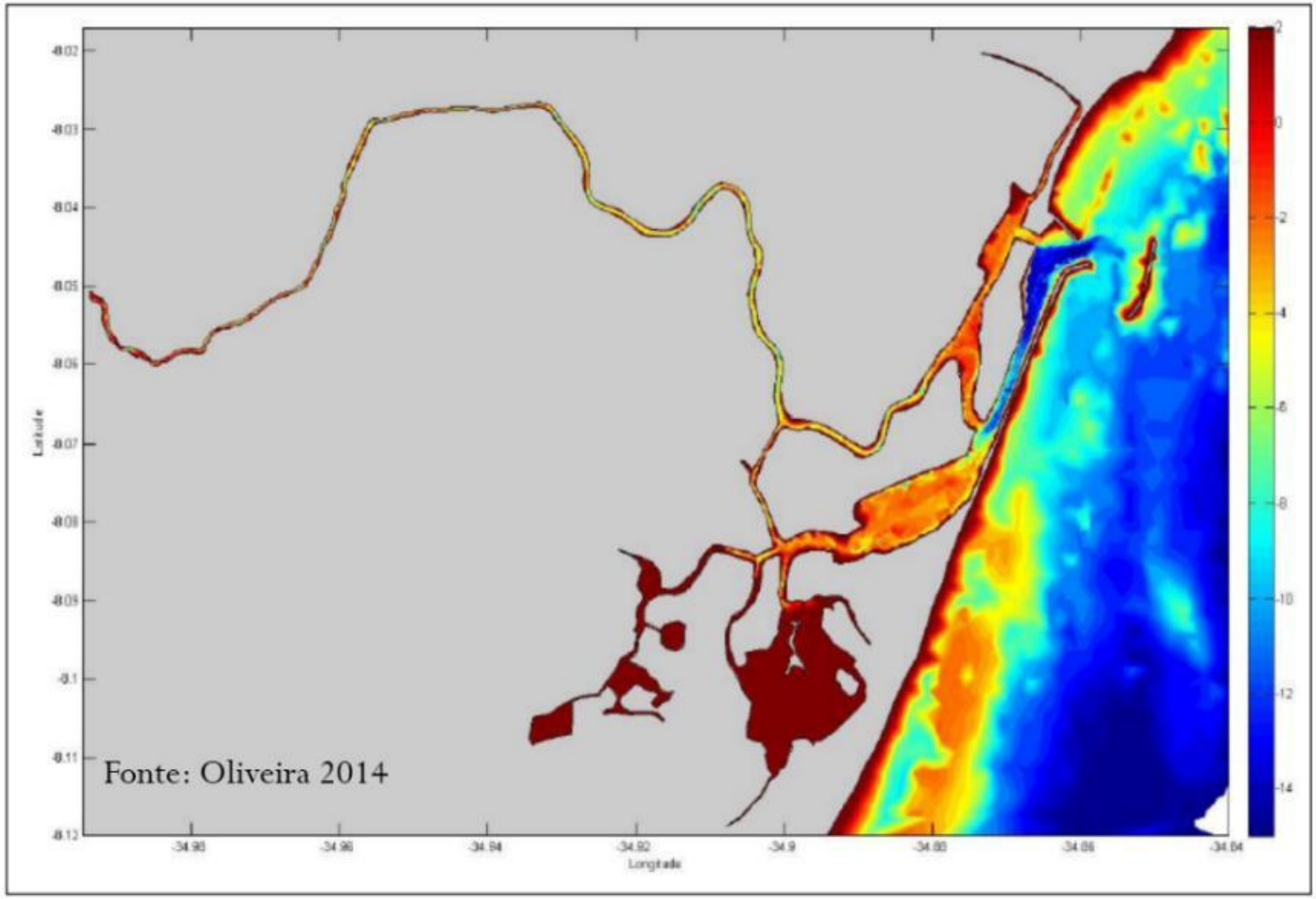
costeira e registra compartimento geomorfológicos classificados como terraços fluviais, baixios de maré e os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos (Santos; Barcellos, 2017).

Os terraços fluviais são produtos da erosão e do processo de deposição associado ao transporte fluvial ocorrido nas unidades pré-quaternárias deste sistema. Os baixios de maré são encontrados nas áreas cujo gradientes de declividade são quase nulos. São ambientes propícios aos processos de sedimentação flúviomarinha. Já os terraços marinhos, são caracterizados por feições elaboradas durante as oscilações do nível médio do mar durante o Quaternário que foram subdivididas em dois tipos, de acordo com a idade de deposição: pleistocênicos e holocênicos (Santos, 2016; Martins, 2017).

3.1.8 Batimetria do estuário do Rio Capibaribe

Em praticamente todo o estuário as profundidades variam de 3 a 12 metros (Marcondes, 2009; Oliveira, 2014). As margens apresentam cotas batimétricas de até dois metros podendo ficar expostas durante as vazantes. Na área do canal principal do Porto do Recife, as profundidades variam de 8 a 12 metros e de 3 a 5 metros no canal principal do estuário em direção a montante (Silva, 2003; Schettini *et al*., 2016). A forma e a batimetria da bacia, além de contribuírem no seu padrão de circulação, são úteis na eliminação de poluentes, visto que o estreitamento e a brusca mudança da batimetria geram um efeito de jato que contribui para a promoção da circulação na bacia e para o seu “flushing” (Araújo; Pires, 1998). Devido a essa circulação, o estuário do Capibaribe é classificado como um estuário de planície, pouco profundo e parcialmente misturado (Monteiro *et al*., 2011), e por isso, o estuário do rio Capibaribe apresenta uma característica de importador de sedimentos oriundos da plataforma continental interna adjacente (Schettini *et al*., 2016) (Figura 5).

Figura 5- Mapa Batimétrico do Estuário do Rio Capibaribe



Fonte: Oliveira, 2014.

3.1.9 Parâmetros oceanográficos

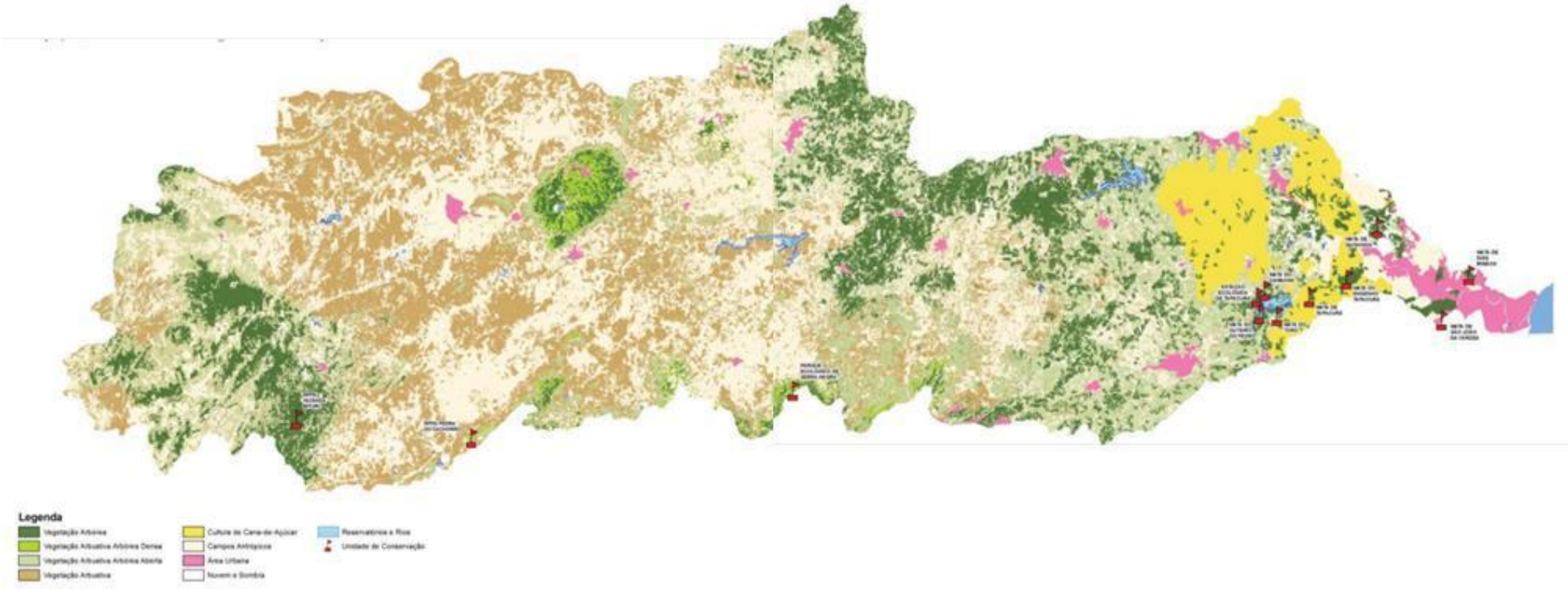
Com relação às marés, atuam na região costeira de Pernambuco em regime de mesomarés com baixa energia hidrodinâmica, sendo caracterizado como um ambiente deposicional (Ottmann; Ottmann, 1959a; Ottmann; Ottmann, 1959b; Travassos, 1991; Macêdo *et al*., 2011; Oliveira et. al., 2014). Estes fenômenos estão associados às características geomorfológicas da bacia (Araújo; Pires, 1998). Marcondes (2009) classifica o complexo estuarino do rio Capibaribe com presença de maré astronômica, semi-diurna, com baixa-mar e preamar registrando valores de -0,20 a 2,70 m durante a sizígia.

Para as correntes de marés, Araújo e Pires (1998); Marcondes (2009); Oliveira *et al*. (2014) encontraram velocidades de corrente variando entre 0,30 a 0,87 $m.s^{-1}$. Araújo e Pires (1998) observaram uma tendência nas maiores velocidades nos períodos de vazante e as menores velocidades nos períodos de estofas de marés. Para Schettini *et al*. (2016) a velocidade de corrente de maré nas proximidades da foz do estuário, registram valores em torno de 0,60 $m.s^{-1}$. Essas intensidades hidrodinâmicas induzem nos processos de erosão e assoreamento ao longo do sistema estuarino (Marcondes, 2009).

3.1.10 Uso e ocupação do solo

De acordo com Xavier (2017), o estuário do rio Capibaribe vem passando por um processo de interferência antrópica desde o início do século XVII e dinamizado a partir do período de permanência dos holandeses na cidade (1630-1654) até os dias atuais. Xavier *et al*. (2016) e Barcellos *et al*. (2017) evidenciaram que essas alterações no meio físico possivelmente interferiram e modificaram o padrão sedimentar para o sistema estuarino, apresentando unidades sedimentares com características distintas, possivelmente influenciadas pelas ações antrópicas, como desmatamento da Mata Atlântica, supressão dos manguezais, aterramentos de áreas alagadas para expansão urbana, dragagem do canal principal do estuário, ocupação desordenada do solo, entre outros. A primeira modificação antrópica física ocorrida no estuário foi a construção do dique do Nogueira (1849) e obras de melhoramento do Porto do Recife (1910). Esses acontecimentos modificaram o padrão sedimentar, com incremento de deposição de areia, menor sedimentação de finos e de matéria orgânica (Figura 6).

Figura 6 -Uso e ocupação do solo em toda a bacia do rio Capibaribe.



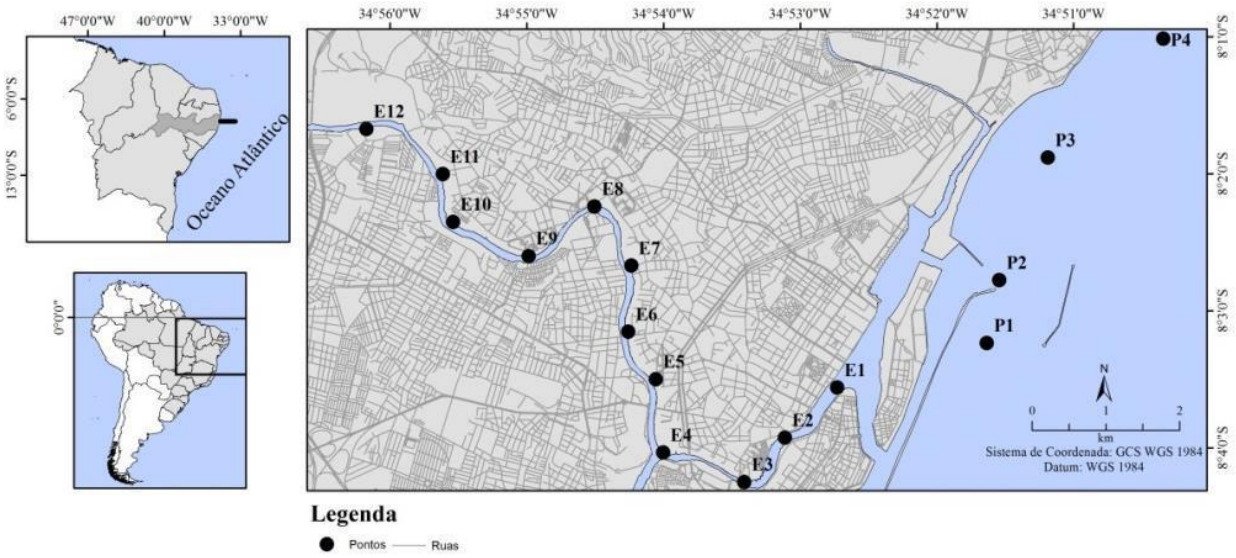
Fonte: Plano Hidroambiental da Bacia do Rio Capibaribe, 2010

Além da ocupação desordenada, as atividades agropecuárias são responsáveis pelo aumento da contaminação por agrotóxicos, e dos processos de erosão e assoreamento devido ao desmatamento das margens. Outras atividades impactantes são encontradas ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe-BHRC, são elas: produtos alimentares, minerais não-metálicos, têxtil, metalúrgicas, químicas, farmacêuticas e veterinárias, indústria sucroalcooleira, couros, matéria plástica, perfumes, sabões, velas, bebidas, mecânica, material elétrico e de comunicação, material de transporte e madeira (Projetec–Brli, 2010; Zanardi-Lamardo *et al*., 2016**).**

3.2 AMOSTRAGEM DE CAMPO

Foram realizadas amostragens de sedimentos superficiais de fundo, nos anos de 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2017, durante os períodos secos e chuvosos, com um amostrador pontual de fundo ("*Van-Veen*"). Doze pontos foram amostrados ao longo do estuário (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 e E12) sendo que nos dois primeiros anos ocorreram amostragens na plataforma continental interna (PCI1, PCI2, PCI3 e PCI4), com 4 pontos amostrados, e nos três últimos anos ocorreram amostragem, exclusivamente ao longo do sistema estuarino (Figura 7, Tabela 1 e Figura 8), perfazendo um conjunto total de 136 amostras.

Figura 7- Distribuição espacial dos pontos amostrados ao longo do estuário do rio Capibaribe (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 e E12) e na plataforma continental interna (PCI1, PCI2, PCI3 e PCI4).



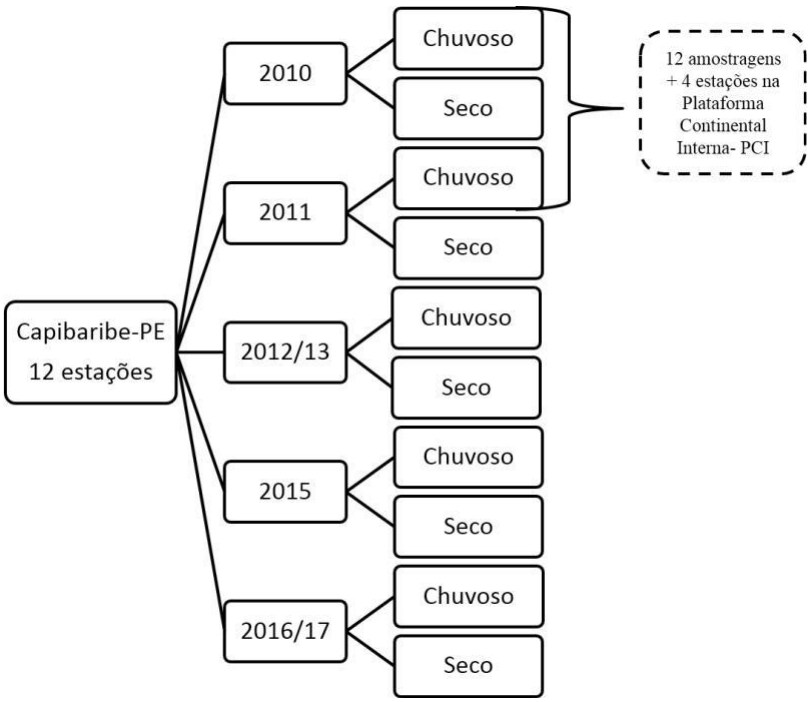
Fonte: A Autora, 2019

Tabela 1- Profundidades (m) dos pontos amostrados ao longo do estuário do Rio Capibaribe-PE.

Estação	Profundidade
1	1,3m
2	4,5m
3	3,3m
4	1,6m
5	4,1m
6	3,6m
7	2,7m
8	1,6m
9	4,8m
10	4,1m
11	3,3m
12	2,7m

Fonte: A Autora, 2019

Figura 8- Arranjo amostral da pesquisa, n:136.



Fonte: A Autora, 2019

3.3 ANÁLISE EM LABORATÓRIO

Neste tópico está detalhado as análises laboratoriais

3.3.1 Análises granulométricas

As análises granulométricas obedeceram à metodologia de peneiramento e pipetagem proposta por Suguio (1973), com posterior tratamento estatístico segundo Folk e Ward (1957) e, classificados de acordo com o diagrama de fácies sedimentares de Shepard (1954).

3.3.2 Análise de conteúdo de matéria orgânica total (MOT) e carbonato de cálcio *($CaCO_3$)*

As amostras foram secas em estufas a 50 °C. Após esse procedimento, foram pesados 10 g de sedimentos para as análises do conteúdo da matéria orgânica total (MOT) e da porcentagem de carbonato de cálcio ($CaCO_3$). As análises de porcentagem de $CaCO_3$ e MOT foram determinados a partir da diferença de peso seco, medido em balança analítica, antes e pós ataque químico com ácido clorídrico (HCl) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ambos a 10%, respectivamente (Carver, 1971).

3.3.3 Análise do C e N elementares, das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}C$) e nitrogênio ($\delta^{15}N$) da matéria orgânica sedimentar

A composição isotópica de carbono e nitrogênio foi determinada pela combustão automática da amostra em um analisador elementar Carlo Erba (CHN-1110), acoplado a um espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus. Estes dados, expressos em porcentagem (%), são obtidos em conjunto com os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}C$) e nitrogênio ($\delta^{15}N$). As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos, separados por cromatografia gasosa, purificados e carreados por um fluxo contínuo de Hélio. Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}C$) e nitrogênio ($\delta^{15}N$) (em partes por mil - ‰) são referidos, respectivamente, ao PDB (“*Pee Dee Belemnite”*) e ao Ar (ar atmosférico).

3.3.4 Análise das razões elementares C/N

A razão C/N tem sido utilizada na determinação da predominância de contribuição continental ou marinha presente nos sedimentos (Barcellos; Furtado, 2006; Saito; Nishimura; Matsumoto, 1989). É calculada baseando-se na análise quantitativa de carbono orgânico total (COT) associado aos dados de nitrogênio total (NT).

3.3.5 Estado Trófico do Sistema Estuarino

Para se realizar uma aproximação do índice do estado trófico da região, utilizou-se a classificação proposta por Hakanson (1984), onde o autor utiliza como indicador o "*Bio Production Number*" (BPN), obtido através do cálculo baseado nas concentrações de nitrogênio total e matéria orgânica total (MOT) contidos nos sedimentos. Vale ressaltar, que para o uso desse cálculo, deve-se utilizar amostras com valores < 20% de MOT, como estabelece a metodologia.

No presente estudo, avaliou-se o estado trófico das estações, com base nos resultados do índice BPN:

$$BPN = \frac{(NT(\%))^2}{MOT(\%)}$$

Onde:

NT(%) – porcentagem de nitrogênio total na amostra;

MOT(%) – porcentagem de matéria orgânica total.

Os intervalos de BPN utilizados para a determinação do estado trófico variam de oligotrófico - 0 a 0,33; mesotrófico - 0,33 a 0,45; eutrófico - 0,45 a 0,65; hipertrófico - > 0,65.

3.3.6 Fracionamento do fósforo sedimentar

A extração de fósforo inorgânico sedimentar (PIs) seguiu o método proposto por "Standards, measurements and testing programme" (protocolo SMT), descrito por Pardo *et al*., (2004). Para a análise da fração sedimentar química de fósforo total (PTs) foi realizado o meio direto seguindo a metodologia segundo Ruban *et al*., (2001). As concentrações foram determinadas pelo método espectrofotométrico de Murphy e Riley (1962) descrito por

Watanabe e Olsen (1965). A porção orgânica do fósforo sedimentar (POs) foi obtida através da diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico (POs= PTs - PIs).

Foram feitos ensaios metodológicos para as análises de fósforo sedimentar, os quais estão descritos no Apêndice.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A partir dos dados obtidos, foram elaborados mapas, tabelas e gráficos, por meio dos softwares *Excel, Grapher, ArcGis 10.3*. O tratamento estatístico foi efetuado através dos programas de software *Sysgran 3* para os dados granulométricos *e BioEstat 5.0* para as análises de componentes principais e de correlação.

4 VARIABILIDADE SEDIMENTOLÓGICA E GEOQUÍMICA EM UM SISTEMA ESTUARINO TROPICAL SOB FORTE INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NO NORDESTE BRASILEIRO (RIO CAPIBARIBE-PE)

Resumo. Este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade sedimentológica e geoquímica sazonal no estuário do Rio Capibaribe-PE. As amostragens foram realizadas nos períodos secos e chuvosos dos anos de 2010 e 2011, e submetidas às análises granulométricas, quantificação dos conteúdos de matéria orgânica total e teores de carbonato de cálcio e composições isotópicas de carbono e nitrogênio. Os resultados sedimentológicos variaram para o estuário de silte muito fino a silte grosso, com predomínio de silte grosso e de silte grosso a areia grossa, para a plataforma continental interna, com predomínio de areia média. O conteúdo da matéria orgânica e os teores de carbonato variaram de 1,5 a 21,7% e 1,7 a 87,3%, respectivamente. As porcentagens de carbono orgânico, nitrogênio total, razão C/N e suas razões isotópicas variaram de 0,11 a 8,87%; 0,01 a 1,02%; 6,01 a 18,81; -25,90 a -20,85‰PDB e -1,14 a 7,66‰Ar, respectivamente. Os altos índices pluviométricos incrementaram o volume de água do rio, aumentando a energia hidrodinâmica e, consequentemente, intensificou o processo de erosão das margens bem como, o carreamento de sedimentos finos e MOT para a plataforma continental. Durante os períodos mais secos o estuário apresentou um comportamento de retenção de sedimentos finos e matéria orgânica, ocasionado pela diminuição da energia hidrodinâmica no sistema estuarino. Os resultados isotópicos demonstraram que o estuário apresentou diferentes fontes de MOT. O estuário registrou impacto ambiental indicado pela razão isotópica $\delta^{15}N$ oriundo dos efluentes urbanos lançados no sistema, caracterizando evidências de poluição antrópica ($\delta^{15}N$ <2‰Ar).
Palavras-chave. Isótopos estáveis, sedimentologia, matéria orgânica, razão C/N, poluição, estuário.

Abstract. The study aims to analyses the sedimentological and geochemistry seasonal variability in the Capibaribe estuary – PE. The samples were collected in dry and rainy periods on 2010 and 2011, and submitted the grain size analyses, total organic matter and calcium carbonate quantifications, and carbon and nitrogen percentages and isotopic compositions. The sedimentological results varied for estuary from very fine silt to coarse silt with coarse silt predominance and for inner continental shelf from coarse silt to coarse sand with medium sand predominance. The organic matter and carbonate contents varied from 1.5 to 21.7% and 1.7 to 87.3%, respectively. The organic carbon, total nitrogen, C//N ratios and its isotopic ratios varied from 0.11 to 8.87%, 0.01 to 1.02%, 6.01 to 18.81, -25.90 to -20.85‰PDB and -1.14 to 7.66‰Air, respectively. The high rainfall indexes incremented the river flux increasing the hydrodynamic energy, consequently, intensified the erosion processes of margins and the transport of fine sediments and TOM to the continental shelf. During the dry periods the estuary showed a retention behavior of fine sediments and organic matter occasioned by decrease of hydrodynamic energy in estuarine system. The isotopic results demonstrated that the Capibaribe estuary showed sources different of TOM. The estuary registered environmental impact, from domestic wastes released in system, characterizing evidence of anthropogenic pollution ($\delta^{15}N$ <2‰Ar).
Keywords. Stable isotopes, sedimentology, organic matter, C/N ratios, pollution, estuary.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes estuarinos oferecem condições ideais para o desenvolvimento de estudos que caracterizam a geologia ambiental destes sistemas, uma vez que acumulam e preservam sedimentos cujos constituintes são sensíveis às mudanças ambientais e climáticas (Portela, 2013). Os sedimentos estuarinos também acumulam matéria orgânica proveniente de fontes fluviais e oceânicas. Além dessa contribuição natural, as áreas costeiras ainda recebem o aporte de material proveniente de atividades antrópicas, geradas, por exemplo, pela agricultura (associada à erosão e uso de fertilizantes), agropecuária, urbanização e industrialização. Todas essas atividades geram efluentes ricos em matéria orgânica, que acabam tendo como destino final as águas costeiras, contribuindo para a sua eutrofização e deterioração. Atualmente, existem pouquíssimos sistemas costeiros em sua forma natural, principalmente aqueles localizados próximos à centros urbanos, onde estão sendo afetados por inúmeros impactos de origem antrópica (Barcelos et. al., 2016a).

O estuário do rio Capibaribe vem experimentando diversos tipos de interferência antrópica, desde o início do processo de colonização (Martins *et al.*, 2016; Xavier *et al.*, 2016; Barcellos *et al.*, 2017). Diariamente, este estuário está sob a pressão da ação antrópica por meio da elevada quantidade de efluentes domésticos e industriais lançados em seu corpo d'água, além dos processos de erosão das áreas marginais causadas pela ocupação desordenada da cidade, obras de dragagem na área portuária, e pela grande quantidade de resíduos sólidos presentes na região estuarina e sedimentos (Schettini *et al.*, 2016; Xavier *et al.*, 2016; Barcellos *et al.*, 2017).

Estudos sedimentológicos e geoquímicos são ferramentas importantes que auxiliam na determinação do impacto antrópico em ambientes costeiros (Förstner *et al.*, 1984; Zhang, 1999; Förstner & Wittmann, 2012). Os parâmetros sedimentológicos são importantes na compreensão das energias atuantes no sistema estuarino, interferências no padrão da energia hidrodinâmica refletem mudanças no padrão de sedimentação (Pettijohn, 1975; Suguio, 2003). A caracterização da matéria orgânica e do carbonato sedimentar são importantes por inferir na origem e nos processos a que estes ambientes estiveram ou estão submetidos (Tyson, 1995). Comumente, essas inferências são reconhecidas por meio de análises elementares (carbono, nitrogênio e razão C/N) e isotópicas ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$), identificando as diferentes fontes dominantes presentes durante o processo de sedimentação (Meyers, 1997; Cloern *et al.*, 2002; Lamb *et al.*, 2006).

Em análises ambientais, o carbono e o nitrogênio são frequentemente utilizados como proxies para a identificação destas fontes sedimentares, mas também na determinação de processos biológicos (p.e. nitrificação heterotrófica), estimativa de taxas de acumulação de

diferentes elementos em várias matrizes (sólidas, líquidas e gasosas), determinação de inputs proporcionais (p.e. influência da dieta na composição isotópica dos seres vivos) e criação e avaliação de modelos (p.e. modelos de dispersão atmosférica) (Vandecasteele et al. (2002); Sulzman, 2008; Portela, 2013). A razão de Carbono/Nitrogênio (C/N) é empregadas como um parâmetro na avaliação da influência relativa da matéria orgânica marinha e terrestre (Tabela 1), indicando a fonte da matéria orgânica para o ecossistema costeiro (Meyers & Ishiwatari, 1993; Meyers, 1994; Guo *et al.*, 2004; Usui *et al.*, 2006; Souza *et al.*, 2013).

Outro traçador da origem da matéria orgânica utilizado em análises ambientais são os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio (Meyers, 1994) A composição isotópica de carbono C^{13}/C^{12}, a razão isotópica ($\delta^{13}C$), da matéria orgânica produzida por organismos fotossintéticos reflete a dinâmica da assimilação de carbono e a composição isotópica da fonte de carbono inorgânico. A diferença na razão isotópica $\delta^{13}C$ entre matéria orgânica produzida por plantas terrestres e algas tem sido sucessivamente utilizada para traçar as fontes de distribuição da matéria orgânica no sedimento (Garcette-Lepecq *et al.*, 2000). Já o isótopo de nitrogênio ($\delta^{15}N$) é utilizado na identificação de processos, principalmente os de degradação que ocorrem no sistema estuarino (Cloern *et al.*, 2002). O uso dessas ferramentas na compreensão dos processos ambientais baseia-se no fato de que a composição isotópica varia de forma previsível, conforme o elemento se move através dos diversos compartimentos de um ecossistema (Tabela 1).

Tabela 1- Intervalo para Origem da Matéria Orgânica Sedimentar- MOS, segunda a razão elementar C/N, razão isotópica de carbono $\delta^{13}C$ e razão isotópica de nitrogênio $\delta^{15}N$.

Parâmetro	Intervalo	Origem da MOS
C/N (%)	4-10	Marinha
	10- 12	Mista
	>12	Continental
^{13}C (%PDB)	<-24	Continental
	>-24	Marinha
^{15}N (‰Ar)	<2	Antrópica
	2- 4	Continental
	4- 10	Marinha

Em áreas estuarinas a MO desempenha um importante papel no ciclo biológico, apresentando considerável importância na geoquímica ambiental. Estes ecossistemas costeiros representam uma zona de transição ecológica exercendo uma importante função de conexão entre ambientes marinhos e terrestres e estão sendo constantemente impactados por várias atividades antrópicas (Clark *et al.*, 1998; Gazeau *et al.*, 2014) que têm contribuído para o aumento na quantidade de efluentes urbanos e industriais, assim como no incremento da quantidade de lixo sólido, sem o tratamento adequado. Oliveira (2014) verificou que a natureza

da MOS no estuário do Rio Capibaribe apresenta maior predomínio de origem continental no período chuvoso, decorrentes da lixiviação. No período seco observou maior aporte de MOS de origem marinha, devido ao menor fluxo fluvial.

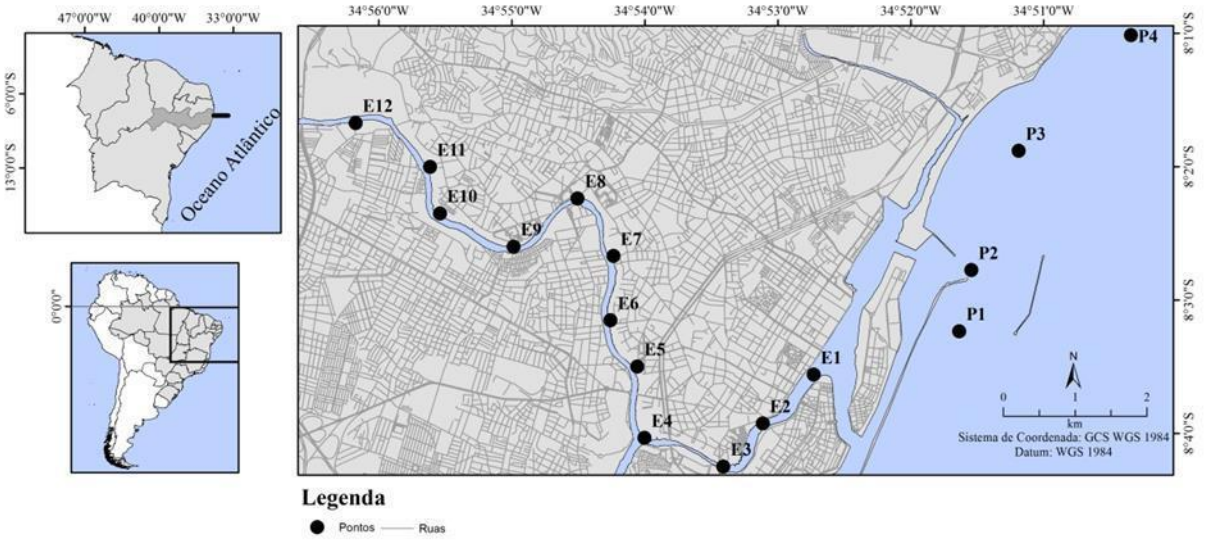
Neste contexto, o objetivo deste artigo é analisar a variabilidade sedimentológica e geoquímica da matéria orgânica sedimentar dos períodos de inverno e verão dos anos de 2010 e 2011, por meio de análises das razões isotópicas estáveis ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) e razão elementar (C/N), identificando e determinando a fonte e as possíveis influências antropogênicas no estuário do Rio Capibaribe - PE.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área

O estuário do rio Capibaribe (08º03'S e 34º53'W) está localizado na Região Metropolitana do Recife (RMR), apresentando aproximadamente 20 km de extensão e percorre 4 municípios. A RMR abriga cerca de 3,7 milhões de habitantes, deste montante aproximadamente 235.000 e 218.000 habitantes residem no baixo e médio estuário deste rio, respectivamente. Sua bacia hidrográfica possui aproximadamente 7.720 km^2 de área de drenagem, a maior do litoral pernambucano. Sua nascente localiza-se no agreste, a 250km da foz, caracterizando-se como um rio intermitente, que passa a ser perene somente na cidade de Surubim (PE) a cerca de 50km do oceano (Bione *et al.*, 2009; Monteiro *et al.*, 2011; Xavier *et al.*, 2016; Barcellos *et al*., 2017) (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização do estuário do rio Capibaribe e os pontos de sedimentos superficiais amostrados ao longo do sistema estuarino. Os pontos com a letra P correspondem aos localizados na Plataforma Continental Interna (PCI) e dos pontos com a letra E correspondem aos pontos da região estuarina.



Geologicamente, o sistema estuarino está inserido em duas unidades geológicas: (i) a Formação Barreiras, de idade do Terciário (Plioceno), representada por coberturas sedimentares dispersas, constituída de um pacote de sedimentos de origem fluvio-aluvial, com fácies arenosas predominantes, além de camadas argilosas e siltosas de depósitos de baixa energia, que se intercalam e, (ii) o Quaternário, sedimentos mais recentes inconsolidados, que preenchem a própria planície, sendo representados por depósitos estuarinos, marinhos, de planície costeira e fluviais nas calhas dos rios (Alheiros *et al.*, 1995; Oliveira, 2014; Martins *et al.*, 2016; Xavier *et al.* 2016; Barcellos *et al.*, 2017).

Quanto ao clima, tropical do tipo As', na região predominam dois tipos de padrão climático. O período seco, ou verão, que ocorre nos meses de setembro a março com períodos de maior insolação e baixos índices pluviométricos, com médias mensais de aproximadamente 80 mm, e o período chuvoso, ou inverno, que ocorre nos meses de abril a agosto, o qual registra os maiores índices pluviométricos com média aproximada de 270 mm (Medeiros & Kjerfve, 1993). A temperatura média anual registra valores de 25,5ºC, com variação média anual de 21,9ºC a 29,1ºC (INMET, 2015). Com relação às características oceanográficas, o estuário do rio Capibaribe está submetido a um regime de mesomaré semidiurna com amplitudes de 0 a 2,5 m. É classificado como um estuário do tipo bem misturado, apresentando vazão média de aproximadamente 20 $m^3.s^{-1}$, com mínima registrada no mês de janeiro (0,2 $m^3.s^{-1}$) e máxima no mês de junho (125 m³.s-1). Para as velocidades de correntes de maré, Schettini *et al.* (2016) registrou para o baixo estuário do rio Capibaribe velocidades máximas entorno de 0,65 $cm.s^{-1}$. Quanto à circulação estuarina, é conduzida preferencialmente pelas marés, com influência da descarga do rio e efeitos da flutuabilidade durante o período chuvoso.

Em termos batimétricos, o sistema estuarino é relativamente raso com praticamente toda sua extensão registrando cotas batimétricas abaixo dos 5 m, e em alguns pontos com valores acima de 14 m, principalmente na área portuária, relacionados à processos de dragagens realizados no decorrer dos anos nesta porção dos canais estuarinos (Oliveira *et al.*, 2014).

As margens do estuário do rio Capibaribe são cercadas por pequenos e degradados manguezais compostas por espécies de *Rizhophora mangle, Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *schaueriana.* Apresenta uma área preservada de mangue, com aproximadamente 20 km², inserida na cidade denominada de Parque dos Manguezais (Silva *et al.* 2010; Xavier *et al.* 2016). Os processos erosivos e de ocupação deste ecossistema são os principais responsáveis pela presença de sedimentos finos ricos em matéria orgânica durante o processo de sedimentação nas margens do estuário (Xavier *et al.* 2016; Barcellos *et al.* 2017).

O estuário do rio Capibaribe recebe grande carga de efluentes doméstico-industriais além dos aportes sedimentares naturais (continentais/marinhos). Apesar da intensa degradação, apresenta fundamental importância ecológica e socioeconômica para a população ribeirinha, principalmente devido à sua atuação pesqueira. Seus bancos intermareais apresentam grande produtividade e são intensivamente explorados pela população local, especialmente para a captura de moluscos (Feitosa *et al.*, 1999; Lima, 2006).

2.2. Materiais

As amostras de campo foram coletadas em julho e novembro de 2010 e maio e setembro de 2011. As amostragens foram realizadas com o auxílio de um GPS da marca Garmim e um amostrador de fundo (do tipo “Van-Veen”), totalizando 16 pontos superficiais sub-amostrados, no qual 4 pontos foram distribuídos na Plataforma Continental Interna (PCI) adjacente à desembocadura e 12 pontos ao longo do estuário do Rio Capibaribe (Figura 1). Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração para a diminuição de alteração geoquímica.

Vale ressaltar, que por problemas de logística, não foi possível realizar amostragem nos quatro pontos da plataforma continental interna no mês de novembro ne 2011.

2.3. Métodos

Dessas amostragens foram realizadas análises granulométricas, determinação do teor de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e matéria orgânica total (MOT) os quais foram analisados no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da Universidade Federal de Pernambuco- UFPE, no Departamento de Oceanografia.

As análises dos conteúdos e composições isotópicas (%C, %N, razão C/N, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) da matéria orgânica foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA/ USP.

2.3.1. Análises granulométricas

As análises granulométricas obedeceram à metodologia de peneiramento e pipetagem proposta por Suguio (1973), com posterior tratamento estatístico segundo Folk & Ward (1957) e classificados de acordo com o diagrama de fácies sedimentares de Shepard (1954) realizados no programa Sysgran 3.0 (Camargo, 2006).

2.3.2. Determinação dos teores da matéria orgânica e de carbonato de cálcio

As análises do conteúdo de matéria orgânica total (MOT) e carbonato de cálcio ($CaCO_3$) obedeceram às metodologias descritas por Carver (1971) que consiste em um ataque químico com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2 a 10%) e Ácido Clorídrico (HCl a 10%), respectivamente. Os resultados, expressos em porcentagens, foram obtidos através da diferença de peso inicial e peso final.

2.3.3. Conteúdos elementares e composições isotópicas (%C, %N, razão C/N, $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) da matéria orgânica

Para a obtenção dos resultados de conteúdos de carbono (%C) e nitrogênio (%N) elementares, e razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}C$) e nitrogênio ($\delta^{15}N$) obedeceram a metodologia proposta por Hedges & Stern (1984) que foi determinada pela combustão automática da amostra em um analisador elementar Carlo Erba (CHN-1110), acoplado a um espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus. As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos, separados por cromatografia gasosa, purificados e carreados por um fluxo contínuo de Hélio.

Após a geração dos dados foi calculada a razão elementar C/N proposta por Redfield (1958), que classifica os intervalos de 4 a 10 como de origem marinha, de origem fitoplanctônica e de algas marinhas; de 10 a 12 como de origem mista no qual apresenta uma mistura de material planctônico marinho e plantas terrestres; e razões maiores que 12, indicando origem continental composta por material de plantas terrestres vasculares e húmus erodido do solo (Saito *et al.*, 1989; Stein, 1991; Lamb *et al.*, 2006).

A razão C/N tem sido utilizada na determinação da predominância de contribuição continental ou marinha presente nos sedimentos (Barcellos; Furtado, 2006; Saito; Nishimura; Matsumoto, 1989). É calculada baseando-se na análise quantitativa de carbono orgânico total (COT) associado aos dados de nitrogênio total (NT).

2.3.4. Estado Trófico do Sistema Estuarino

Para se realizar uma aproximação do índice do estado trófico da região, utilizou-se a classificação proposta por Hakanson (1984), onde o autor utiliza como indicador o "*Bio Production Number*" (BPN), obtido através do cálculo baseado nas concentrações de nitrogênio total e matéria orgânica total (MOT) contidos nos sedimentos. Vale ressaltar, que para o uso desse cálculo, deve-se utilizar amostras com valores < 20% de MOT, como estabelece a metodologia.

No presente estudo, avaliou-se o estado trófico das estações, com base nos resultados do índice BPN:

(%)

= ((%)) *

Onde:

NT (%) – porcentagem de nitrogênio total na amostra;

MOT (%) – porcentagem de matéria orgânica total.

Os intervalos de BPN utilizados para a determinação do estado trófico variam de 0 a 0,33 para oligotrófico; 0,33 a 0,45 para mesotrófico; 0,45 a 0,65 para eutrófico; e > 0,65 para hipertrófico.

2.3.5. Análises estatísticas

Para as análises estatísticas foram realizados os índices de correlação de Pearson, obtidos utilizando o software BioStat 9.0. Além dessa, utilizou-se o método estatístico da análise de agrupamento de Cluster para cada período estudado a fim de identificar as fácies sedimentares através das características semelhantes entre os pontos (Romesburg, 1984; Oliveira *et al.*, 2014; Barcelos et. al., 2016a).

3. RESULTADOS

De forma geral, os dados sedimentológicos apresentaram características distintas entre os pontos localizados na região estuarina e a plataforma continental interna. Os pontos localizados no estuário apresentaram características siltosas, com baixos a médios teores de carbonato, altos teores de matéria orgânica total (MOT), carbono orgânico e nitrogênio total, de origem mista a continental, indicativos de plantas superiores e poluição por esgotos. Os pontos localizados na plataforma adjacente apresentaram características arenosas, grãos mal selecionados, com médios a altos teores de carbonato, baixos conteúdos de MOT, carbono orgânico e nitrogênio total, de origem marinha (Tabela 2).

Tabela 2 -Resumo dos dados sedimentológicos e geoquímicos do Estuário do Rio Capibaribe em 2010 e 2011.

Parâmetro	2010	2011

		Julho	Novembro	Maio	Setembro
D.M	Estuário	Silte fino	Silte muito fino	Silte grosso	Silte grosso
	Plataforma	Silte médio	Silte grosso	Areia fina	Areia
Cascalho(%)	Estuário	1,1±1,9	0,1±0,1	0,2±0,3	0,6±0,6
	Plataforma	20,6±40,9	0,9±0,6	3,2±5,5	1,3±1,9
Areia (%)	Estuário	19,1±10,8	10,1±10,5	51,6±33,1	47,0±24,6
	Plataforma	24,2±10,8	99,1±0,6	73,7±44,3	75,3±33,7
Silte (%)	Estuário	44,7±17,2	46,6±8,4	26,5±19,2	26,5±16,8
	Plataforma	33,2±22,8	0,0±0,0	42,4±21,2	12,7±8,9
Argila (%)	Estuário	35,0±14,7	43,2±11,1	21,7±16,8	25,9±16,4
	Plataforma	22,0±17,1	0,0±0,0	1,9±3,7	14,4±21,2
MOT	Estuário	11,9±2,3	14,3±7,7	6,7±4,8	16,3±21,2
	Plataforma	7,3±4,4	1,8±0,3	9,1±8,8	6,5±4,6
$CaCO_3$	Estuário	11,0±3,6	28,3±21,3	21,0±22,7	22,6±21,3
	Plataforma	63,5±18,1	53,8±16,3	50,9±26,0	51,0±12,6
%C	Estuário	3,3±0,5	6,6±2,0	1,5±1,4	2,9±2,0
	Plataforma	1,7±0,7	-	1,6±1,2	0,4±0,1
%N	Estuário	0,3±0,1	0,7±0,3	0,1±0,1	0,3±0,2
	Plataforma	0,2±0,1	-	0,2±0,2	0,0±0,0
C/N	Estuário	11,8±0,9	9,2±0,8	13,5±3,5	9,6±1,9
	Plataforma	9,5±1,6	-	8,8±1,7	9,0±2,1
$\delta^{13}C$	Estuário	-24.9±0,4	-24.8±0,3	-23,8±1,5	-23,6±1,1
	Plataforma	-21,5±0,6	-	-20,8±1,2	-22,4±1,6
$\delta^{15}N$	Estuário	5,2±1,0	1,0±1,7	6,3±1,1	3,1±2,5
	Plataforma	6,4±0,2	-	6,9±1,0	7,2±0,5

Segundo a classificação de Shepard (1954), para a região estuarina, os sedimentos superficiais variaram de areias sílticas a silte. Para a plataforma, os sedimentos apresentaram variação de argila síltica-arenosa a areia, com predomínio de areia. Quanto ao diâmetro médio, os sedimentos superficiais localizados no estuário apresentam, para os períodos de chuva e seca, granulação variando de areia fina a silte muito fino com predomínio de silte fino. No entanto, a plataforma continental adjacente apresentou algumas variações entre os períodos chuvoso e seco, apresentando granulação mais fina durante os períodos chuvosos e mais grossa nos períodos secos (Tabela 2 e Figura 2).

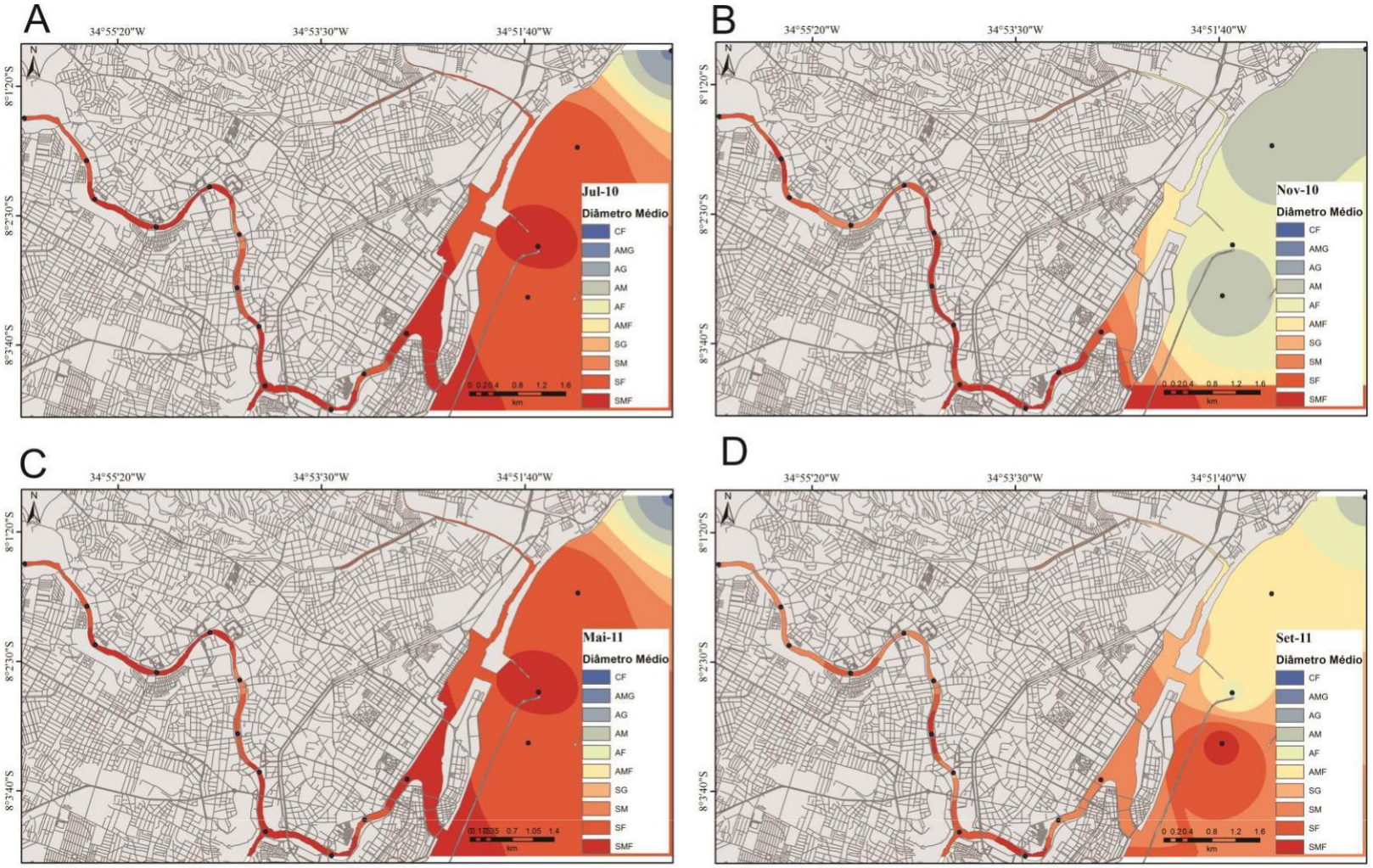


Figura 2- Mapa de Diâmetro Médio dos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Legenda: SMF-silte muito fino, SF-silte fino, SM-silte médio, SG-silte grosso, AMF-areia muito fina, AF-areia fina, AM-areia média, AG-areia grossa, AMG-areia muito grossa, CF-cascalho fino.

Para as porcentagens de cascalho, areia, silte e argila, foram observados um comportamento diferente entres os anos estudados. A região estuarina do rio Capibaribe apresentou para o ano de 2010 altas porcentagens de sedimentos finos (silte e argila), nos períodos chuvoso e seco. Diferentemente do apresentado para o ano de 2011, onde foram observados o aumento das porcentagens de areia em alguns pontos do médio estuário e, principalmente, no baixo estuário durante os períodos chuvoso e seco. Porém, os pontos localizados na plataforma registraram para o período chuvoso, do ano de 2010, altas porcentagens de sedimentos finos, com valores de lama acima de 65%. Já no período seco, a plataforma registrou altas porcentagens de areia (> 98%). Em 2011, o comportamento das frações granulométricas apresentou-se de forma diferente do ano anterior, as maiores porcentagens de sedimentos arenosos durante o período chuvoso e maior heterogeneidade durante o período seco (Tabela 2 e Figura 3).

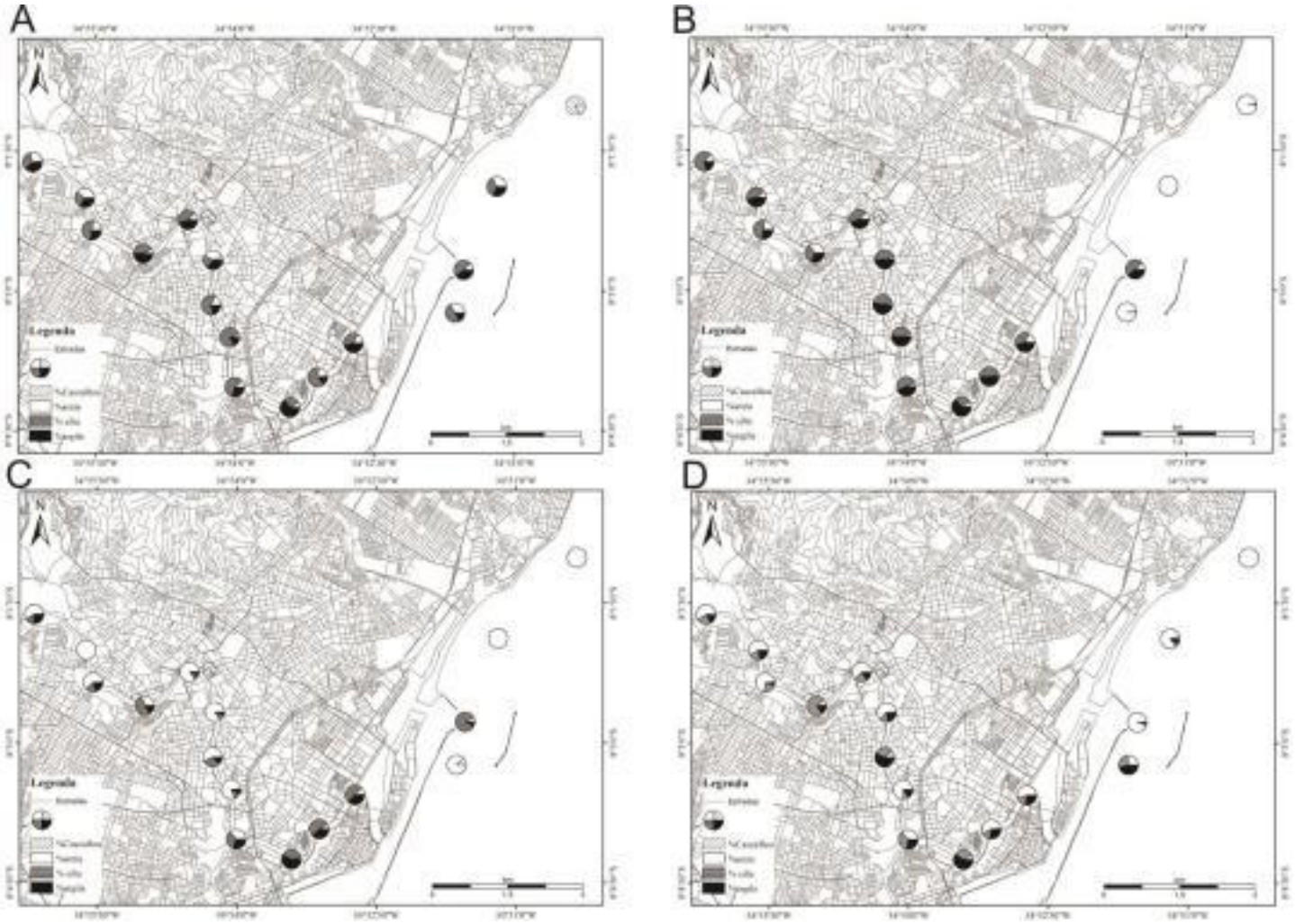


Figura 3- Mapa das porcentagens de Cascalho, Areia, Silte e Argila, para os sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Em hachurado – porcentagens de cascalho, branco – areia, cinza – silte e preto – argila.

Com relação às porcentagens de matéria orgânica total, a região estuarina apresentou maiores teores quando comparados à região de plataforma. Além dessa variação espacial, a região estuarina registrou variação sazonal, com os maiores valores nas porcentagens de MOT nos períodos secos (com médias de 14,3 e 16,3%) (Figura 4 B e D) e menores valores nos períodos chuvosos (11,9 e 6,7%) (Tabela 2, Figura 4 A e C). Quanto à distribuição de carbonato de cálcio, a região do estuário registrou baixos valores de carbonato (média ≤ 28,2%) não apresentando variações expressivas entre os anos e os períodos climáticos, demonstrando a predominância da influência continental sob a área do médio e do baixo estuário, região classificada com litoclástica (Larsounneur, *et al.*, 1982). A região da plataforma apresentou as maiores porcentagens de carbonatos (médias ≥ 50.9%), classificadas como sedimentos biolitoclásticos, segundo a classificação de Larsounneur,*et al.*, (1982), indicando a forte influência marinha nesta área. Entretanto, foi observado que no período chuvoso de 2011 (Figura 5 C) ocorreu uma diminuição das porcentagens de carbonato no ponto localizado na foz do estuário, devido ao aumento da quantidade de sedimentos finos e de matéria orgânica registrada para esse período, devido ao aporte terrígeno (Tabela 2 e Figura 5).

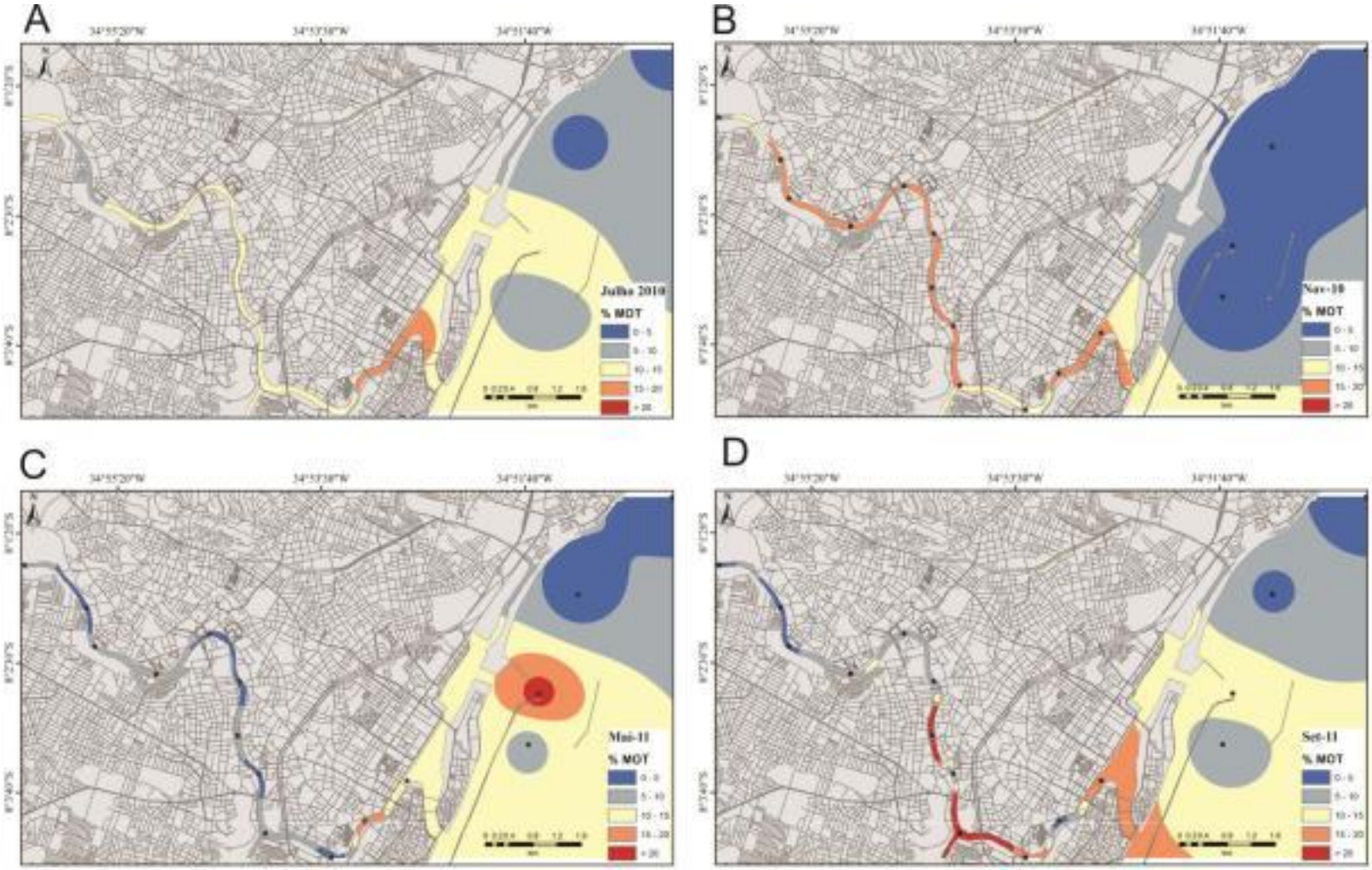


Figura 4- Mapa da distribuição dos teores de Matéria Orgânica Total- MOT(%) nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Azul escuro (0 – 5%); azul claro (5 – 10%); amarelo (10 – 15%); alaranjado (15 – 20%) e vermelho (>20%).

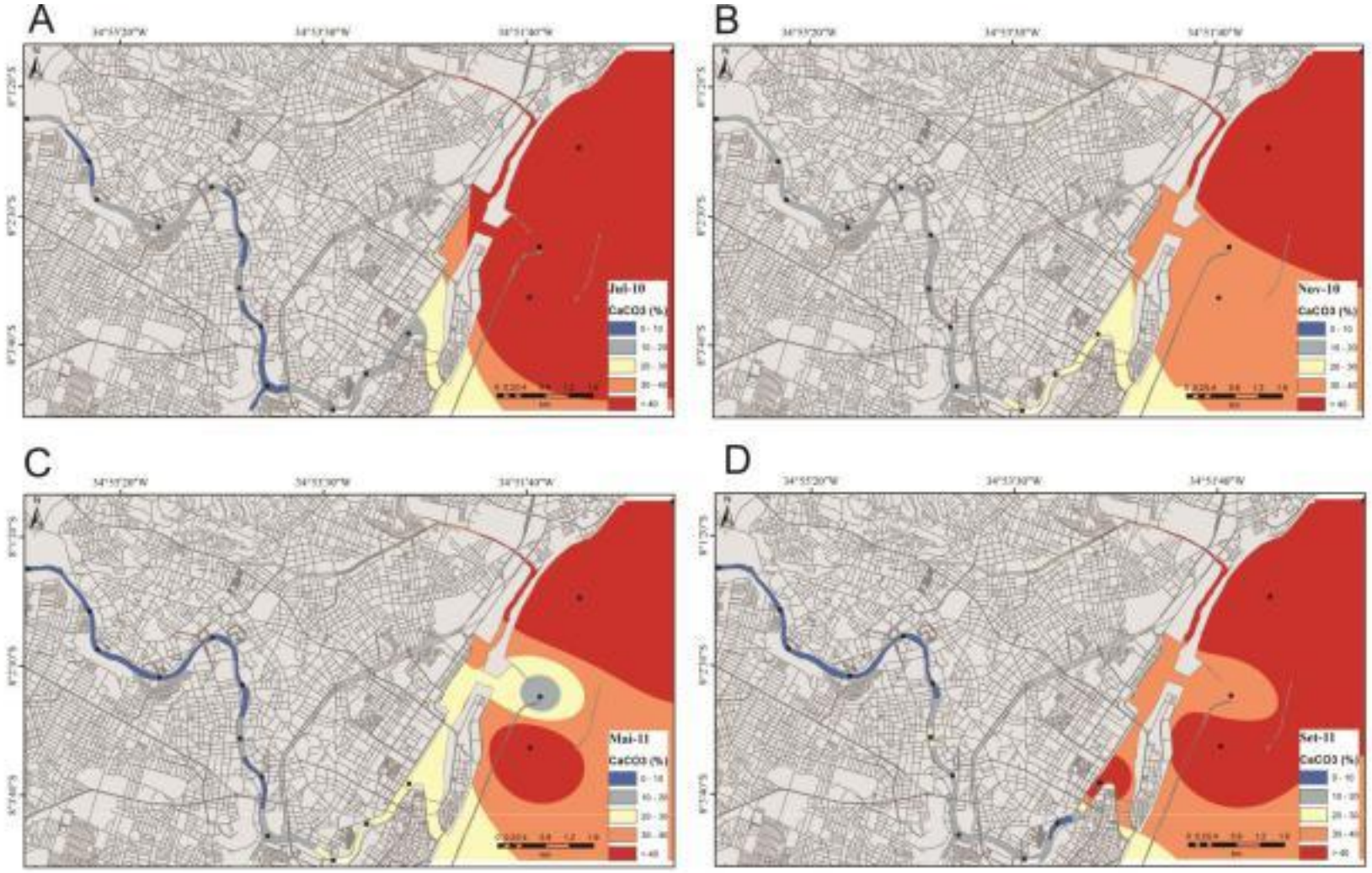


Figura 5- Mapa da distribuição das porcentagens de carbonato de cálcio nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Azul escuro (0-10%); azul claro (10-20%); amarelo (20-30%); alaranjado (30-40%) e vermelho (>40%).

Quanto ao conteúdo de carbono orgânico (%), as maiores porcentagens foram registradas no sistema estuarino nos períodos seco (com máxima de 10,6%). A menores porcentagens de carbono foram registadas na plataforma (com mínima de 1,01%). Quanto à variabilidade temporal, no ano de 2010, o mês de novembro registrou as maiores porcentagens (10,6%). Quando comparados ao ano de 2011, as menores porcentagens foram registradas abaixo de 6% (Tabela 2). As concentrações de nitrogênio total nos sedimentos variaram, para os períodos secos, de 0,01 a 1,02%. Nos períodos chuvosos apresentaram variações entre 0,01 e 0,38%. O período seco de 2010 apresentou maior porcentagem de N (média de 0,7%), registrando ao longo de todo o corpo estuarino porcentagens variando de 0,10 a 1,02%. Em uma avaliação interanual, o ano de 2011 registrou os menores percentuais de nitrogênio com valores variando de 0,01 a 0,58% (Tabela 2). Os valores obtidos da razão C/N, entre todos os períodos e anos, oscilaram de 6,01 a 18,81. Esses resultados demonstraram uma predominância de matéria orgânica de origem mista e continental para o sistema estuarino e de origem marinha e mista para a plataforma. Sazonalmente, os períodos chuvosos apresentaram predominância de matéria orgânica de origem mista para a região estuarina e origem marinha para a área da plataforma (Figura 6 A e C; Figura 7A e C; Figura 8 A e C). Para os períodos secos foram registrados para a plataforma interna adjacente ao estuário e nas áreas do baixo estuário uma forte influência marinha, devido ao menor aporte fluvial. (Tabela 2, Figura 6 B e D, Figura 7 B e D e Figura 8 B e D).

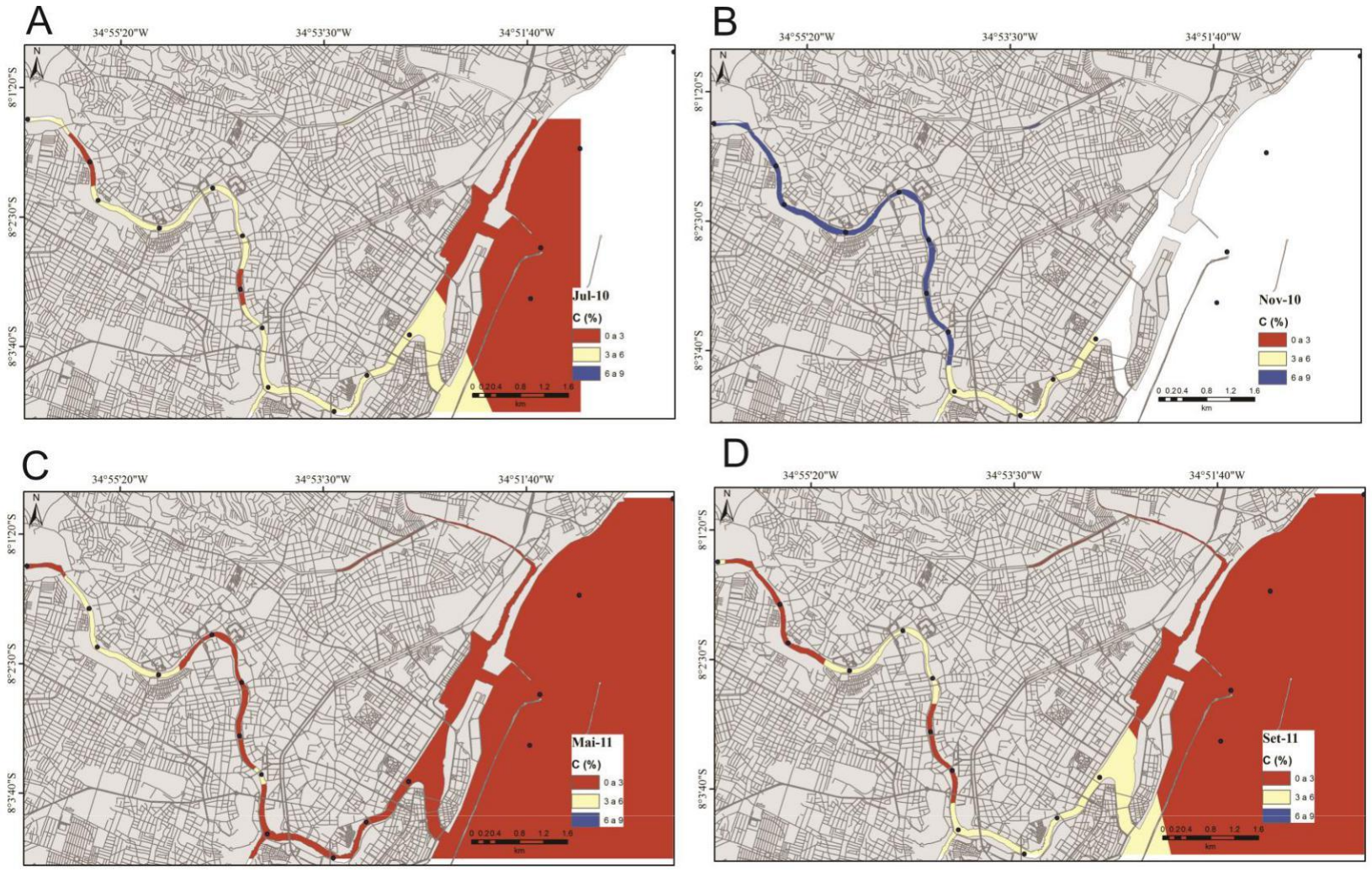


Figura 6- Mapa da distribuição das porcentagens de carbono elementar nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Vermelho (0-3%), amarelo (3-6%) e azul (6-9%).

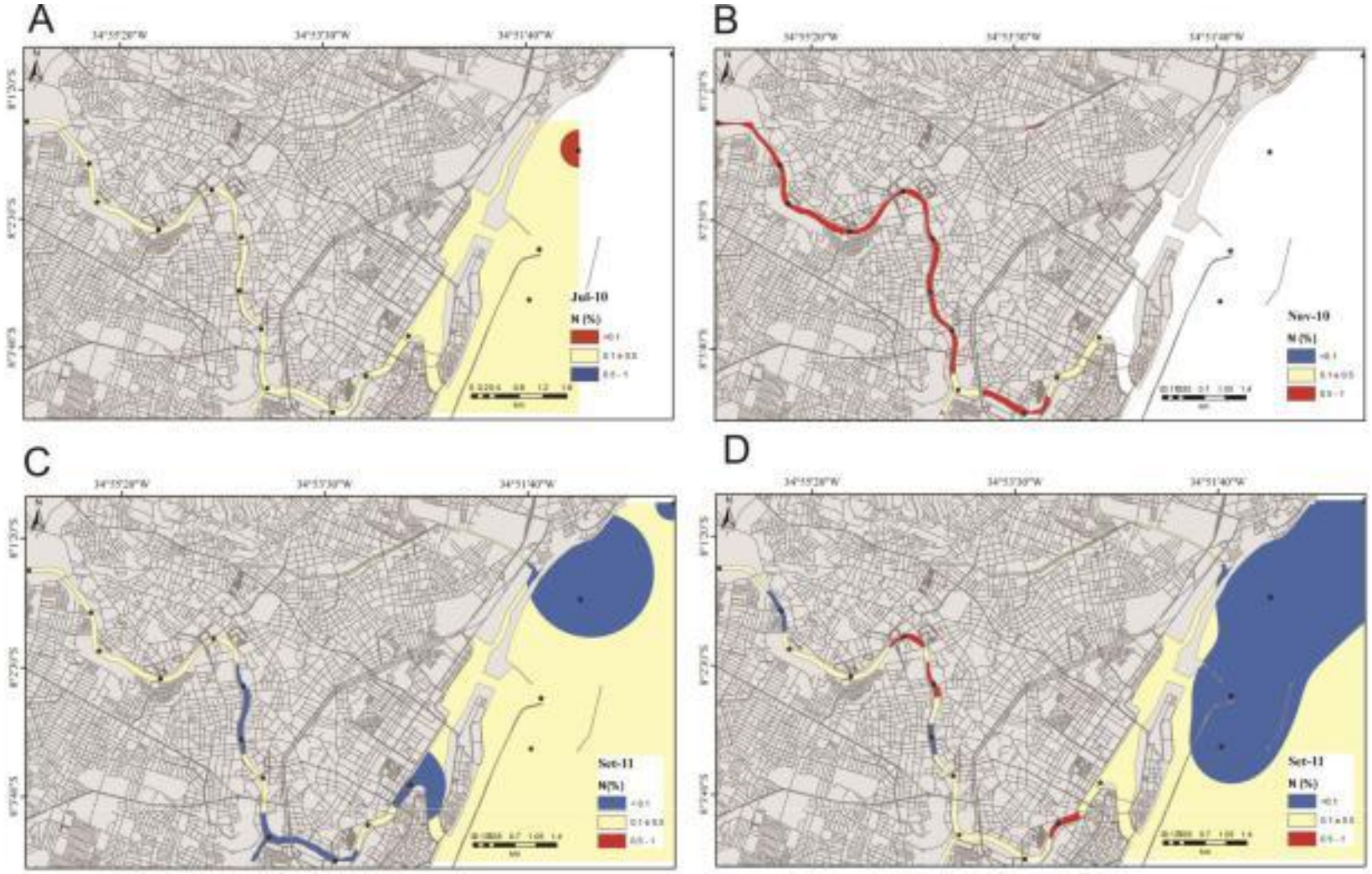


Figura 7- Mapa da distribuição das porcentagens de nitrogênio elementar nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Azul (< 0,1%); amarelo (0,1-0.5%) e vermelho (0,5-1%).

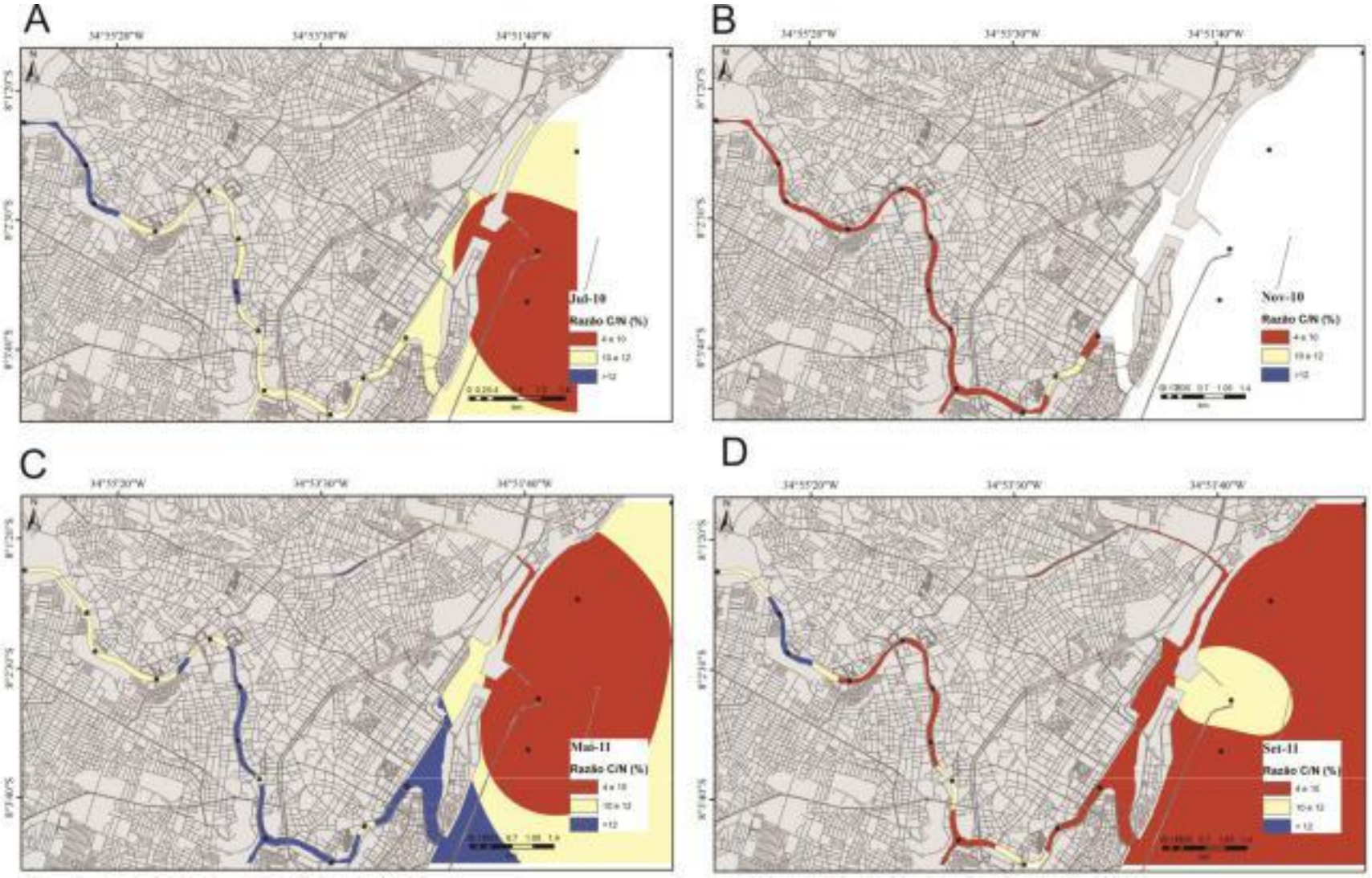


Figura 8- Mapa da distribuição dos valores da razão C/N nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Vermelho (4-10); amarelo (10-12) e azul (>12).

Com relação aos resultados isotópicos, as razões isotópicas $\delta^{13}C$ variaram de -25,90 a - 19,29‰PDB. A variação interanual foi mais evidente, demonstrando para o ano de 2010 as áreas estuarinas com valores menores que -24‰PDB, indicando uma tendência à origem continental e, para a plataforma, tendência de origem marinha com valores maiores que -24‰PDB (Tabela 2). Os valores da razão isotópica $\delta^{15}N$ apresentaram intervalo de -1,14 a 7,40‰Ar em todo período estudado. A origem da matéria orgânica de acordo com a razão isotópica $\delta^{15}N$ foi evidente quando comparados os períodos seco e chuvoso. No período chuvoso ocorreu a predominância de matéria orgânica de origem marinha, tanto no estuário quanto na plataforma, apresentando alguns pontos mais internos do estuário com origem continental e esgoto doméstico (Figura 9 A e C; Figura 10 A e C). No período seco ocorreu grande diversidade, com predomínio de matéria orgânica de origem continental (Tabela 2, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 B e D; Figura 10 B e D).

A razão $\delta^{15}N$ indicou para os períodos chuvosos uma origem marinha com valores médios para jul/10 e mai/11 de 5,20±0,97‰Ar e 6,58±0,84‰Ar, respectivamente, registrando episódios de origem continental. Nos meses mais secos registraram médias muito mais baixas para nov/10 (0,85±1,67‰Ar) e set/11 (3,80±1,90‰Ar), respectivamente.

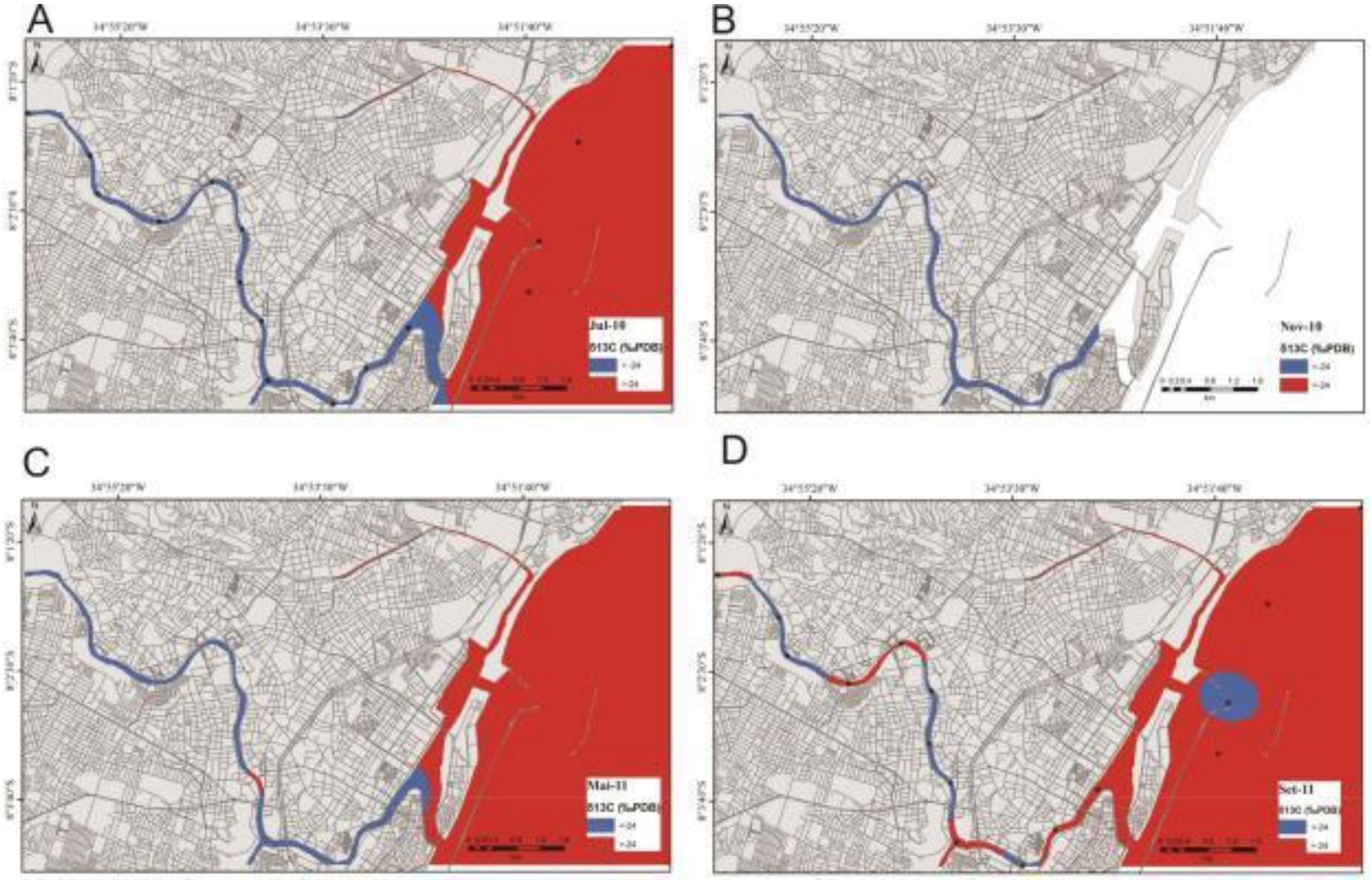


Figura 9- Mapa da distribuição dos valores da razão $\delta^{13}C$ nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Vermelho (< -24 ‰PBD) e azul (> -24 ‰PBD).

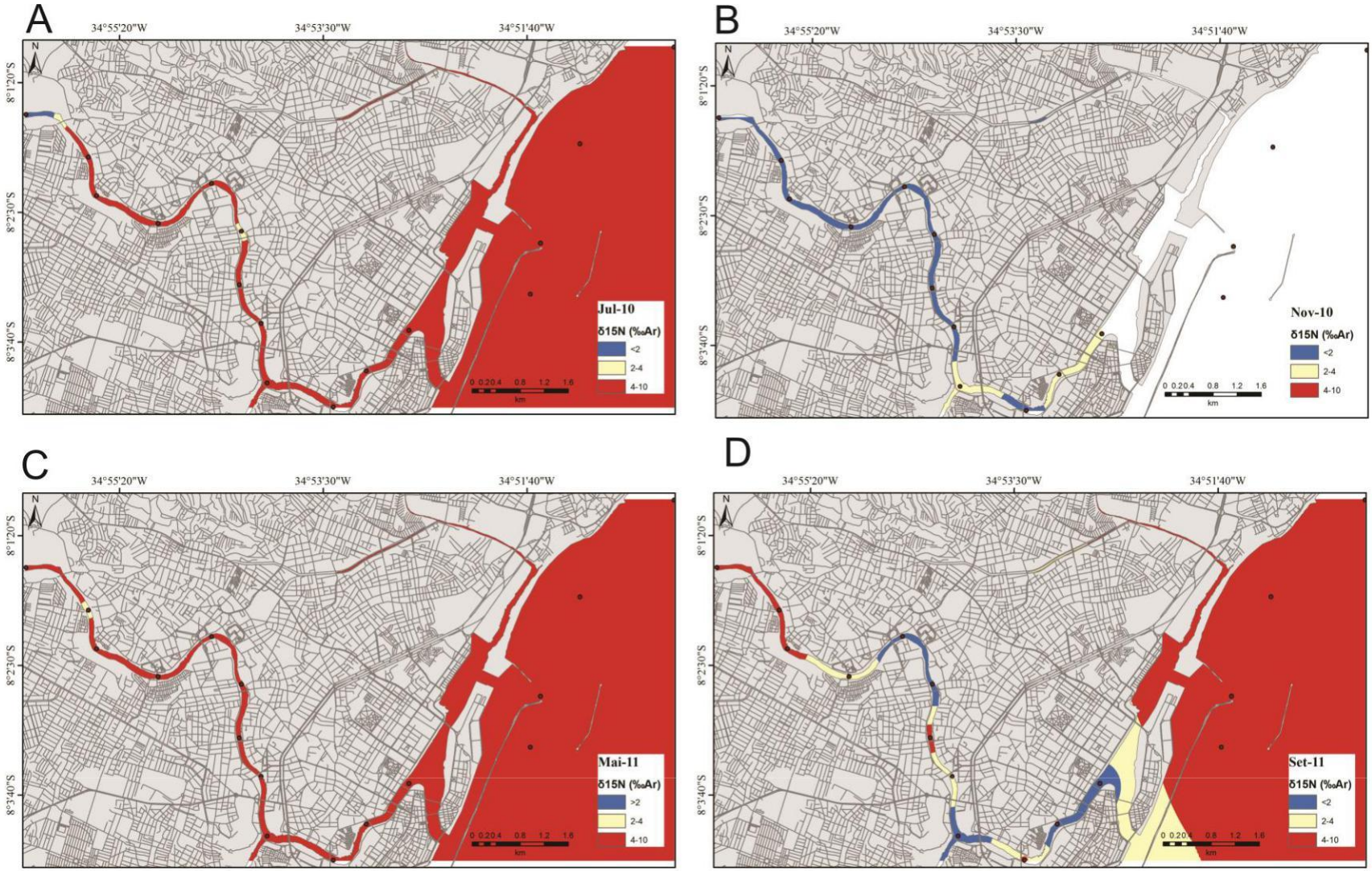


Figura 10- Mapa da distribuição dos valores da razão $\delta^{15}N$ nos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe e da Plataforma Continental Interna (PCI). (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011. Azul (> 2); amarelo (2-4) e vermelho (4-10).

Quanto ao estado trófico do sistema estuarino, tanto o período chuvoso quanto o período seco de 2010 foram classificados como hipertróficos. Para o ano de 2011, o período chuvoso variou de oligotrófico a hipertrófico com predomínio hipertrófico. Já o período seco de 2011 apresentou variação de mesotrófico a hipertrófico, com predomínio de condições hipertróficas (Tabela 3).

Tabela 3- Estado trófico dos pontos amostrados do Sistema Estuarino segundo a classificação de Hakanson (1984).

	Período Chuvoso		Período Seco	
	Julho-10	Maio-11	Novembro-10	Setembro-11
Mínimo	1,5	0,1	2,1	0,4
Máximo	3,8	22,6	7,5	16,0
Média e desvio padrão	2,4±0,6	4,0±5,7	4,8±1,9	4,1±4,5

Segundo os resultados da análise de agrupamento, o mês de julho de 2010 apresentou três fácies com diferentes características sedimentológicas e geoquímicas, e uma amostra isolada. A Fácies I (P2, P3 e P4) apresentou uma característica mais carbonática (com valores de carbonato entre 45,00 a 66,30%), evidenciado uma forte influência marinha e corroborando com os parâmetros geoquímicos (Razões isotópicas C/N, δ13C e δ^{15}N). A Fácies II (E2, E4, E5, E6 e E10) foi classificado como uma fácies siltosa com porcentagem variando entre 50,52 e 77,39%, classificado como silte (Shepard, 1954). A Fácies III (E1, E3, E7, E8, E9, E11 e E12) apresentou as maiores porcentagens de argila, variando de 33,20 a 64,52%. Segundo a classificação de Shepard (1954) a amostra P1 foi classificada como isolada, no qual apresentou sedimentos do tipo areia com a maior porcentagem de carbonato (87,30%) e baixo teor de matéria orgânica (4,30%).

No mês de nov/10, a análise de agrupamento classificou os sedimentos em duas fácies. A Fácies I (P1, P2 e P4) apresentou as maiores influências marinhas com elevados teores de carbonato, os menores conteúdos de matéria orgânica e areia, variando de 39,20 a 71,40%, 1,50 a 2,00% e 98,60 a 99,94%, respectivamente. A Fácies II (E5, E6, E7, E9, E11 e E12) apresentou características de sedimentos do tipo silte (Shepard, 1954), variando entre 34,25 e 64,47%. Devido à ausência de alguns dados geoquímicos, as amostras E1, E2, E3, E4, E8 e E10 foram agrupadas, porém não podendo ser classificadas como um tipo de fácies (Figura 11 e Figura 12).

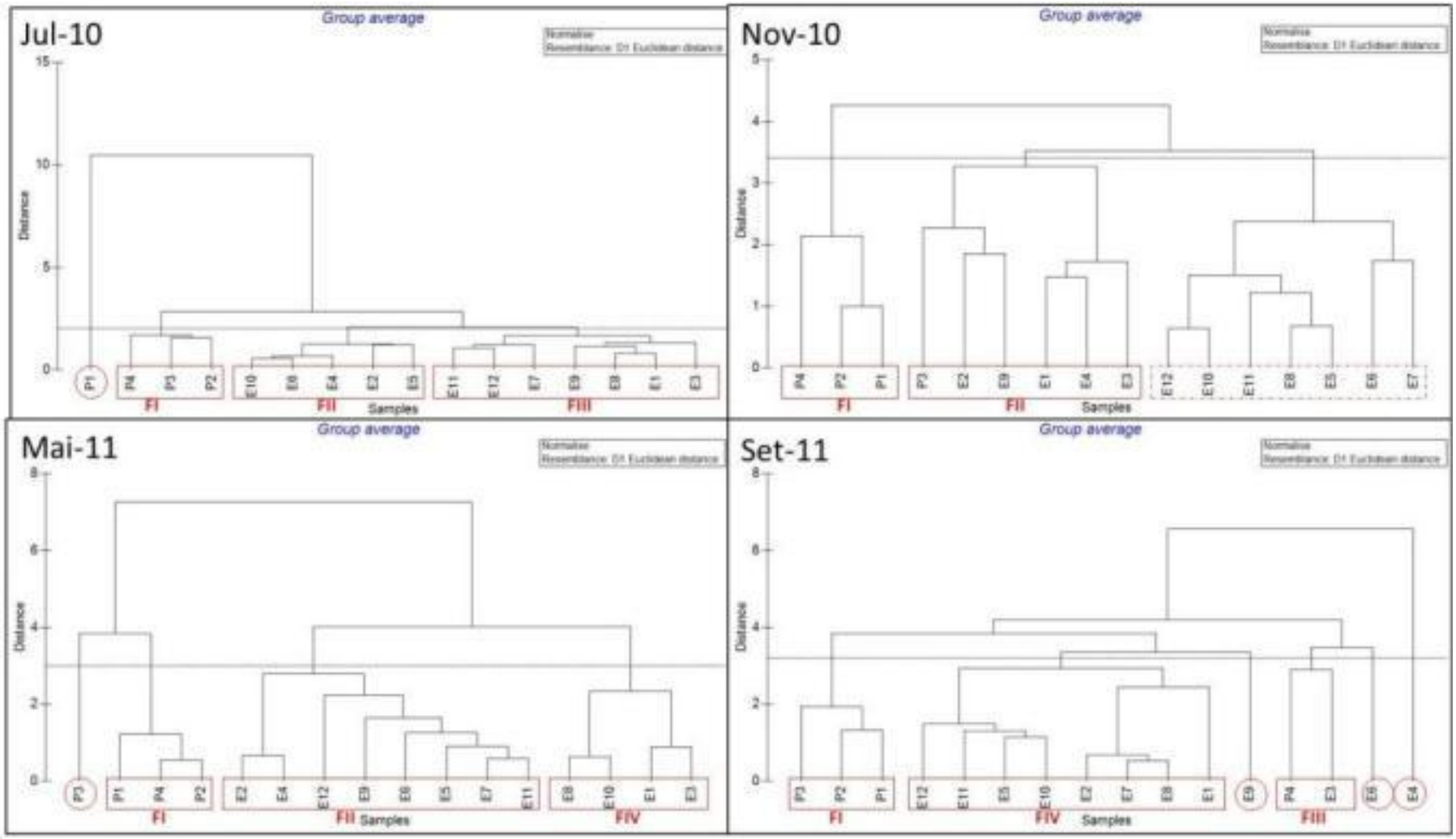


Figura 11- Análise de Agrupamento de Cluster.

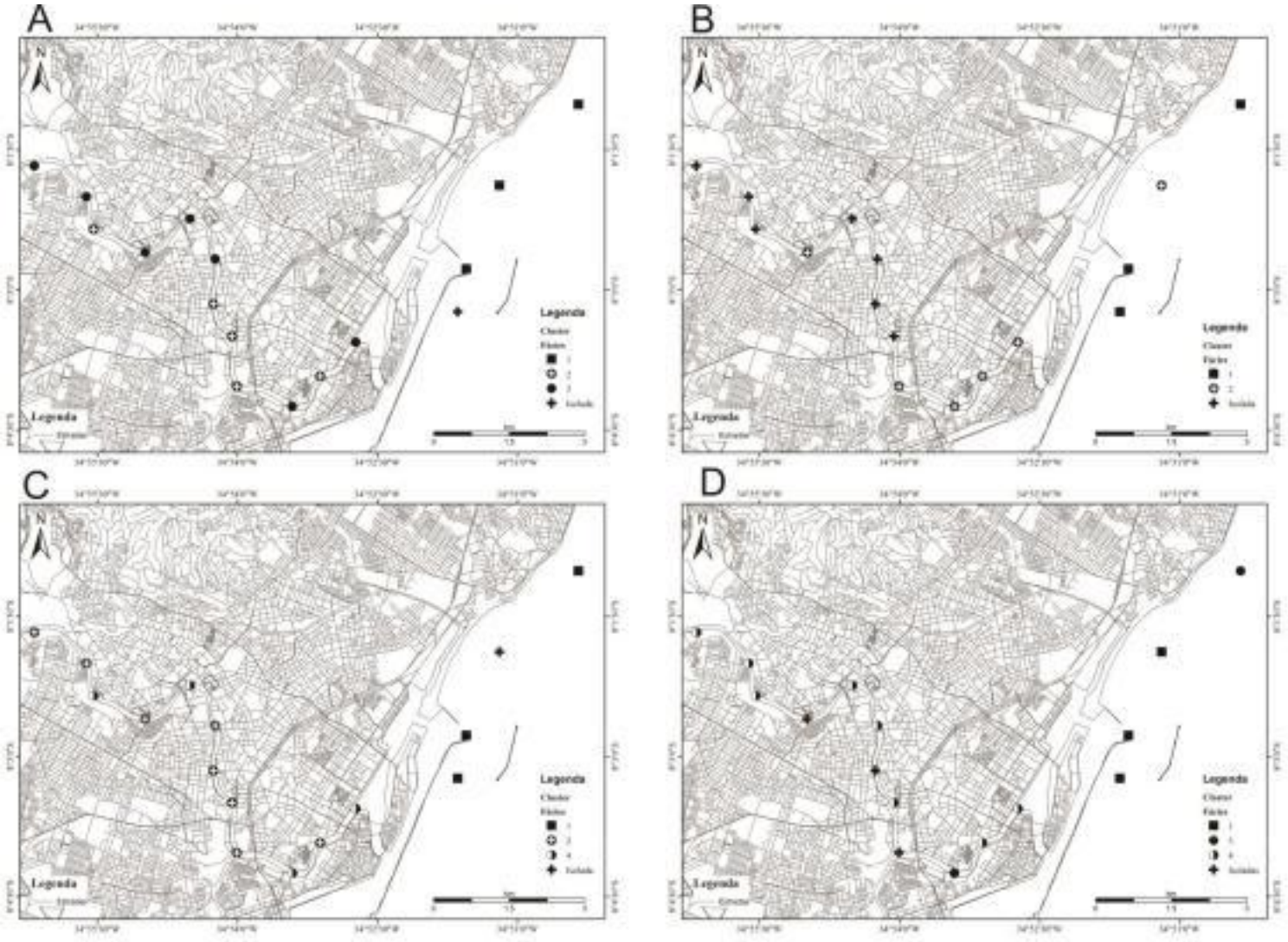


Figura 12- Mapa Faciológico do estuário do Rio Capibaribe e Plataforma Continental Interna (PCI) com base na análise de Cluster. (A) Julho e (B) novembro de 2010 e (C) maio e (D) setembro de 2011.

Para o ano de 2011, o mês de maio apresentou três fácies e uma amostra isolada: a Fácies I (P1, P2 e P4) com características marinhas registrando elevados teores de carbonato (56,80 a 72,60%). A Fácies II (E1, E2, E3, E4 e E9) foi classificada por apresentar características de siltosa (32,83 a 84,70%) (Shepard, 1954). Por fim, a Fácies IV (E5, E6, E7, E8, E10, E11 e E12) apresentou características de sedimentos arenosos (Shepard, 1954), variando de 57,24 a 100%. A amostra P3 apresentou alta porcentagem de silte (84,70%) e os maiores teores de MOT com 21,70% (Figura 11 e Figura 12).

O mês de setembro de 2011 apresentou três fácies sedimentares e três amostras isoladas: a Fácies I (P1, P2 e P3) apresentou características marinhas com os teores de carbonato mais elevados (34,30 a 63,70%). A Fácies III (P4 e E3) apresentou as maiores porcentagens de argila, variando de 45,84 a 59,33%. A Fácies IV (E1, E2, E5, E7, E8, E10, E11 e E12) com característica arenosa (Shepard, 1954), variando entre 54,35 a 74,84%. A amostra E4 apresentou o maior teor de matéria orgânica (72,80%), a amostra E6 apresentou a maior porcentagem de argila (56,89%) e a amostra E9 apresentou alta porcentagem de silte (73,68%) permanecendo, assim, isoladas das demais (Figura 11 e Figura 12).

4. DISCUSSÃO

A climatologia foi um dos fatores condicionantes na distribuição e variação dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos para o sistema estuarino do rio Capibaribe. Esta região apresenta dois períodos distintos: um período caracterizado por altos índices pluviométricos (> 1000 mm) e temperaturas relativamente mais baixas, registrada durante o período de abril a agosto; e um período com baixos índices pluviométricos (< 30mm) e temperaturas relativamente elevadas, registrada durante o período de setembro a março (INMET, 2015).

Em períodos chuvosos, principalmente em julho de 2010, o estuário apresentou um comportamento de sedimentação de granulação fina (41,8±18,6% e 31,8±15,8%, silte e argila, respectivamente), relativa diminuição nas porcentagens de matéria orgânica (11,94% e 6,78% para os meses de jul/10 e mai/11, respectivamente) e ligeira diminuição de carbonato (11,02% e 10,42% para os meses de jul/10 e mai/11, respectivamente). Para os períodos de seca, o estuário do rio Capibaribe apresentou um comportamento de sedimentação de granulação ligeiramente mais grossa, principalmente em setembro de 2011 (54,1±28,8% de areia), conteúdos de matéria orgânica relativamente mais alta e incrementos nos teores de $CaCO_3$ (16,98% e 16,36% para valores de MOT e carbonato de cálcio para o mês de novembro de 2010, respectivamente; e 16,39% e 13,34% para os valores de MOT e carbonato para o mês de setembro de 2011). Esse comportamento é reflexo dos altos índices pluviométricos que

intensificam a carga hídrica do rio, aumentando a energia hidrodinâmica no sistema e assim, erodindo as margens do canal fluvial e estuarino, incrementando na concentração de sedimentos finos. Porém, grande parte da matéria orgânica presente no sedimento é carreada em direção à foz do estuário. Esse comportamento corrobora com os observados em todo o sistema estuarino-lagunar do Capibaribe por Oliveira *et al.* (2014).

O registro desse transporte de lama (sedimento finos) e de matéria orgânica, oriunda do estuário, em direção à sua foz é observado nos valores dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos, durante os períodos chuvosos, no qual o ponto localizado na foz do sistema estuarino (P2) registra neste período incremento de sedimentos finos e matéria orgânica (para o mês de julho de 2010 foi observado 48,68%, 38,94% e 13,50% de silte, argila e MO, respectivamente; e, para maio de 2011, 84,7%, 7,47% e 21,70% de silte, argila e MO, respectivamente). Porém, essa influência da pluma de sedimento não é observada para os pontos mais ao norte e ao sul da foz do estuário, adjacentes aos molhes, o que se deve ao fato da presença de um quebra-mar (no Banco do Inglês) perpendicular à desembocadura do sistema. Esse conjunto de estruturas de engenharia, dois molhes e um quebra-mar, existentes na desembocadura do sistema estuarino desde 1910, aprisionam grande parte da carga sedimentar aportada pelo estuário à plataforma interna adjacente, facilitando a deposição de sedimentos o qual cria uma área de sombra de deposição (Martins *et al.*, 2016).

Durante o período seco, as baixas intensidades da energia hidrodinâmica e vazão fluvial (0,2 $m^3.s^{-1}$) devido aos baixos índices pluviométricos facilitam os processos de intrusão das águas marinhas no sistema estuarino (Schettini *et al.*, 2016). Com essa entrada marinha intensificada, as regiões próximas da foz do sistema estuarino apresentaram maiores concentrações de sedimento de granulação grossa, além de criar uma barreira que amortece o material sedimentar oriundo do rio, ocorrendo a sedimentação nas áreas do alto e médio estuário. Parte do material, de origem continental, que chega no baixo estuário sofre com os processos de oxidação, sedimentando, e assim, facilitando a ciclagem pelos organismos bentônicos (Lana *et al.*, 1997). A grande disponibilidade de nutrientes no estuário, pela oxidação da matéria orgânica, aumenta na densidade de organismos de carapaça carbonática, demonstrando correlações moderadas e positivas entre esses parâmetros ($r^2 = 0,6$; $p < 0.001$), conforme observado por Lana *et al.*, (1997) e Xavier *et al.*, (2016).

Com relação ao carbonato de cálcio, a variação nos valores também foi influenciada pelo padrão meteoceanográfico local. A plataforma continental interna apresentou, no geral, característica carbonáticas com altas porcentagens de carbonato (máxima de 87% em julho de 2010 e 72,6% em maio de 2011), classificada de acordo com Larssoneur *et al.* (1982) como

sedimentos biosiliciclásticos (50-70%) e bioclásticos (70-100%). Todavia, a influência da condicionante climatologia é registrada principalmente no ponto P2, localizado na foz do sistema estuarino. Com o aumento da vazão do sistema estuarino ocorreu o incremento no aporte de matéria orgânica para a plataforma continental interna, influenciando nos percentuais de carbonato de cálcio durante os anos estudados, principalmente para o mês de maio de 2011 que apresentou o maior índice pluviométrico refletindo diretamente nas menores porcentagens de carbonato de cálcio e as maiores porcentagens de MOT neste mesmo mês. Paropkari *et al.* (1991) afirmam que elevadas concentrações de MOT de origem continental podem inibir nas concentrações de carbonato de cálcio, o que foi observado no mês de maio de 2011 nesta pesquisa.

O maior aporte de carbono orgânico e nitrogênio orgânico total ocorreu no período seco (8,87 e 5,25%, respectivamente nos meses de novembro-10 e setembro-11), sendo que os maiores teores estão associados com os sedimentos mais finos, corroborando com dados de Oliveira *et al.* (2014). O aporte de carbono orgânico em áreas costeiras geralmente está relacionado com origens naturais, podendo apresentar valores de 0,1% em águas costeiras e de 0,5% em estuários. Nesses últimos, podemos encontrar registros de 12,5%, indicando assim, que o ambiente pode estar sofrendo influências de descarga de esgotos domésticos e efluentes industriais (Bacelos et. al., 2016a; Kennish, 1997).

Martinelli *et al.* (2009) afirma que os sedimentos marinhos refletem a composição isotópica de sua fonte de carbono, no qual a principal fonte de matéria orgânica é o fitoplâncton. Nas regiões costeiras, além do fitoplâncton, há a influência do material terrestre erodido e lixiviado que chega ao oceano, principalmente pelos rios. Esta matéria orgânica presente em áreas estuarinas desempenha um importante papel nos ciclos geoquímicos, revelando se existe alteração quanto à sua origem ou se a ação antrópica está afetando o equilíbrio deste ambiente costeiro.

Os altos teores de carbono orgânico (8,87%), nitrogênio total (1,02%) e os resultados isotópicos de carbono e nitrogênio (>-24‰PDB e > 2‰Ar, respectivamente) indicam que o sistema estuarino está apresentando fontes de matéria orgânica de origem antrópica. O mesmo foi observado por Oliveira *et al.* (2014) para o mesmo estuário. Estudos realizados por Romankevich, (1984), Barcellos & Furtado (2006), Barcellos *et al.* (2009), Santos *et al.* (2013) e Barcelos et. al., (2016a) observaram altos valores desses parâmetros indicando possível influência antrópica durante os processos de sedimentação.

Quanto à origem da matéria orgânica, Meyers (1994) afirma que a matéria orgânica de origem autóctone na água, produzida principalmente pela comunidade planctônica local, tem

razão molar C/N entre 6 e 8. As bactérias apresentam valores inferiores entre 4 e 5. Valores de C/N superiores a 20 são característicos da matéria orgânica terrestre, produzida principalmente por plantas superiores. Já os sedimentos em suspensão de grandes rios caracterizados por altos teores de material, são caracterizados por uma razão C/N por volta de 10, evidenciando que grande parte do material orgânico transportado tem sua origem na lavagem dos solos de sua bacia (Amorim *et al.*, 2009). O estuário do rio Capibaribe apresentou nos períodos secos, origem mista e marinha, e os períodos chuvosos apresentaram sedimentos com características indicativas de matéria orgânica de origem terrígena, tanto natural quanto antrópica (Figura 8). Meyers (1997) e Andrews *et al.* (1998) concluíram que ambientes estuarinos apresentam um padrão médio de razão C/N igual a 15. Essa razão é principalmente influenciada pela maior ingressão de MOT de origem continental no sistema. Valores semelhantes da razão C/N foram registrados por Barcellos *et al.* (2016b) para o estuário do rio Jaboatão.

Em termos isotópicos, os valores de $\delta^{13}C$ apresentaram diferenças entre os anos, no ano de 2010 os meses de julho e novembro de 2010 apresentaram médias de -24,85±0,40‰PDB e -24,83±0,33‰PDB, respectivamente; e em 2011 apresentaram para maio e setembro média de-23,20±1,96‰PDB e -23,63±0,54‰PDB, respectivamente. Esta diferença entre os anos demonstra que durante o ano de 2010 o estuário do rio Capibaribe apresentou a maior influência de sedimentos de origem continental durante a sedimentação, possivelmente influenciado pela maior quantidade de chuva registrada nesse período (Oliveira *et al.*, 2014; Xavier *et al.*, 2016). Para os valores registrados em 2011, podemos inferir que o aumento nos valores isotópicos de carbono estaria relacionado com a maior influência marinha durante a deposição, principalmente na região do baixo estuário. Porém, como observado por Oliveira *et al.* (2014) há diferentes fontes de matéria orgânica para o estuário do rio Capibaribe e entre elas as de origem antrópica. Com relação aos resultados de isótopos de carbono e razão C/N foi observado que a maioria dos resultados são de origem marinha, principalmente na área da plataforma. Em 2011, a origem mostrou tendência marinha com ocorrências de origem continental ao longo do estuário (Figura 13).

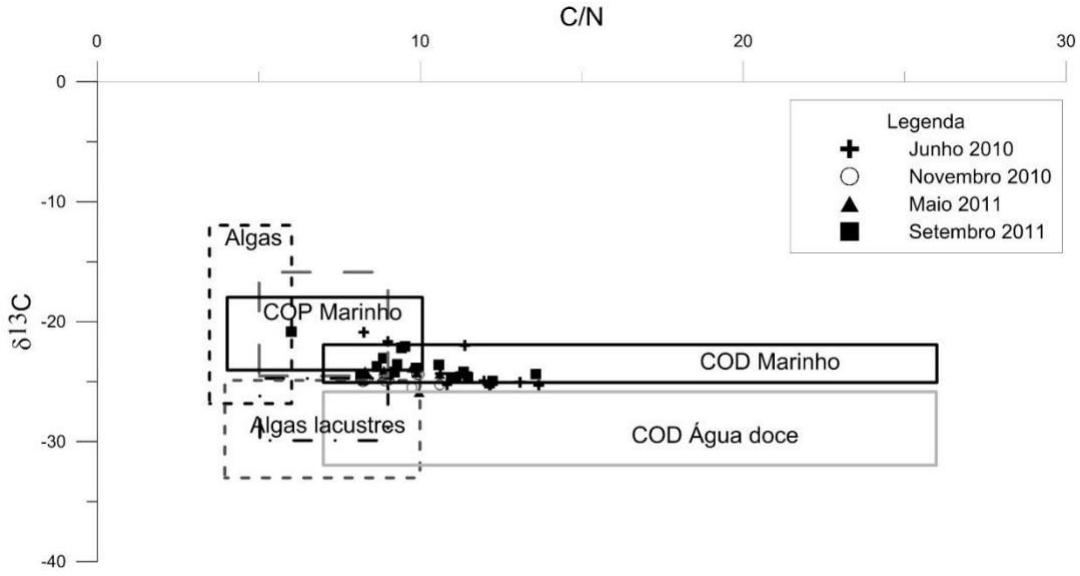


Figura 13 -Gráfico da caracterização da origem da matéria orgânica de acordo com Meyers (1994) modificado de Martins (2017).

Estes resultados sugerem que o Estuário do Rio Capibaribe está sujeito a diferentes fontes de material sedimentar, de origem continental, marinha e antrópica. No período em que se observa um aumento do teor de carbono orgânico, esse seria reflexo das altas taxas de precipitação e elevada lixiviação da MOT presente na bacia de drenagem, transportada e depositada na região (Oliveira *et al.*, 2014; Barcellos *et al.*, 2016b; Martins *et al.*, 2016). As fontes mistas de MOT refletem a distribuição sazonal dentro do estuário, bem como a variabilidade temporal na desembocadura do rio (Teixeira, 2000; Eddins, 2001; Goñi *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2014; Barcelos et. al., 2016a).

Os valores de $\delta^{15}N$ para os períodos secos são fortes indicativos de contaminantes oriundos de efluentes domésticos, registrando evidências de poluição antrópica ($\delta^{15}N$ <2‰Ar) (Aravena *et al.*, 1993 apud Ruiz Fernández, *et al.*, 2002). Como nos períodos secos registram os menores índices pluviométricos diminuindo significativamente a vazão, o transporte de sedimentos e material particulado, a matéria orgânica de origem antrópica e continental ficaria retida no sistema estuarino, refletindo em teores indicativos de origem de esgoto doméstico, observados principalmente nos pontos E1 a E4, localizados no baixo estuário na zona de máximo de turbidez local (Schettini *et al.*, 2016), que apresentam valores menores que 2‰Ar e maiores que -26‰PDB (Gebhardt *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2014) (Figura 14).

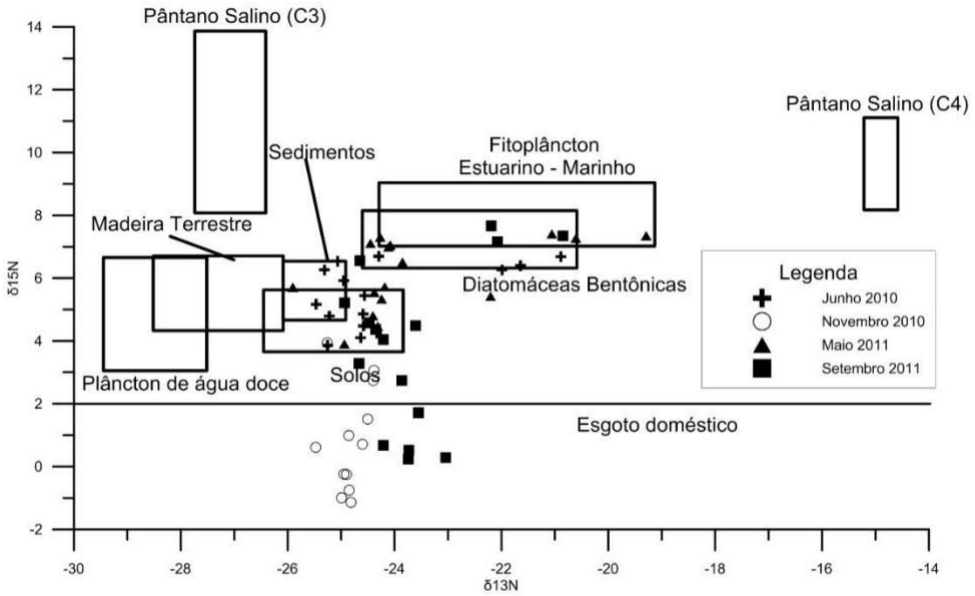


Figura 14- Gráfico da caracterização da origem da matéria orgânica de acordo com Cloern *et al. (*2002).

Para o padrão de sedimentação, de acordo com as análises de agrupamento de Clusters, foi observado que o estuário apresentou variação interanual nos anos estudados. Para o ano de 2010, essa análise de agrupamento apresentou muitos pontos com características similares, tanto na plataforma com características de sedimentos marinhos quanto no estuário com sedimentação de sedimentos lamosos. Já o ano de 2011, a análise de Clusters representou os pontos, principalmente os localizados no baixo estuário, com características predominantemente arenosas. Essa diferença interanual poder estar sendo influenciada pelos índices pluviométricos, para o ano de 2010. O acumulado mensal de chuva até o mês de junho foi de 549,1 mm (janeiro a maio) e para o mês de novembro o acumulado mensal foi de 894,5 mm. Os registros de chuva acumulada mensal para o ano de 2011 foram de 951,7 mm (janeiro a abril) e 1451,1 mm (maio a agosto) para as coletas realizadas em maio e setembro, respectivamente (INMET, 2015). Esses resultados de acumulados mensais evidenciam a influência dos parâmetros climáticos sob a distribuição sedimentar, onde nos períodos de menores índices pluviométricos ocorreram a maior sedimentação de finos, bem como nos períodos de maiores índices pluviométricos ocorreram o predomínio da granulação areia durante o processo de sedimentação, como observado para os anos de 2010 e 2011. Essa relação entre os parâmetros climáticos e a distribuição de sedimentos para o estuário do rio Capibaribe foi observada por Oliveira 2014, Barcellos *et al.* (2016b); Santos e Barcellos (2017) observaram um padrão contrário, com um aumento de lamas nas amostras de inverno nos estuários dos rios Capibaribe, Jaboatão e Formoso, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

A variabilidade climática sazonal entre 2010 e 2011 foi um dos fatores que determinaram a distribuição e características dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos. Nos períodos chuvosos, o estuário do rio Capibaribe apresentou um comportamento de sedimentação mais fina, entretanto com concentrações de matéria orgânica e carbonatos ligeiramente baixos. Esta característica pode estar associada a intensificação da energia hidrodinâmica local que aumentou, ao longo do estuário, a deposição de sedimentos finos oriundo dos processos de erosão e lixiviação da bacia de drenagem, porém transportando em direção a foz a matéria orgânica sedimentar. Este incremento nos sedimentos mais finos e no conteúdo de matéria orgânica foram observados, na saída do sistema estuarino, mais precisamente, no ponto localizado na foz do estuário.

No período seco (2010 e 2011), o estuário apresentou um comportamento de sedimentos de granulação ligeiramente mais grossa, com predominância de sedimentos silte grosso. Nestes períodos foram registrados os conteúdos de matéria orgânica e os teores de carbonato, possivelmente associados à diminuição da energia hidrodinâmica devido aos baixos índices pluviométricos. Desta forma, o incremento na intensidade de maré no baixo estuário provocou um amortecimento do material transportado pelo rio oriundo da bacia de drenagem, aumentando a deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica, principalmente, no baixo estuário.

Assim como o comportamento sazonal da matéria orgânica para o estuário do rio Capibaribe, o maior aporte de carbono orgânico (%) e de nitrogênio total (%) ocorreu no período seco, associados à sedimentação de granulação mais fina. Em alguns pontos do estuário foram registrados elevados valores de carbono e nitrogênio, principalmente nos períodos secos, podendo ser indicativo de uma forte influência antrópica.

Quanto aos resultados da razão isotópica, estes permitiram caracterizar o estuário como um ambiente de fontes mistas de matéria orgânica. Quanto à origem da matéria orgânica, de acordo com a razão C/N, o estuário apresentou, nos períodos secos, origem mista e marinha, e nos períodos chuvosos registrou matéria orgânica de origem continental. De acordo com a razão $\delta^{13}C$, em 2010, a origem da matéria orgânica mostrou tendência de continental com ocorrências de origem marinha. Em 2011, a origem da matéria orgânica sedimentar mostrou tendência marinha com ocorrências de origem continental. No caso da razão $\delta^{15}N$, essa indicou origem marinha para os períodos chuvosos e nos meses mais secos registraram origem terrígena, natural e antrópica no sistema estuarino. Vale ressaltar que, no período seco a razão isotópica $\delta^{15}N$

registrou forte indício de poluição antrópica (matéria orgânica sedimentar oriunda de efluentes domésticos) principalmente no mês de novembro de 2011.

A análise estatística permitiu identificar quatro fácies com características sedimentológicas e geoquímicas distintas: a Fácies I com característica mais carbonática e forte influência marinha, apresentando os menores teores de MOT, localizados principalmente na plataforma continental adjacente; a Fácies II com características siltosa localizadas em alguns pontos do estuário durante o período chuvoso; a Fácies III com características argilosas em pontos localizados no baixo estuário no mês de julho de 2010; e a Fácies IV com características de sedimentos arenosos principalmente durante o ano de 2011 na maioria dos pontos do estuário.

Deste modo, diante dos resultados apresentados nesta pesquisa, constatou-se que o estuário do rio Capibaribe-PE, está sujeito a fontes mistas de matéria orgânica sedimentar com elevada influência continental nos períodos mais secos. Sendo este, caracterizado como de baixa energia hidrodinâmica, potencial retentor de MO e finos, submetido à forte influência de fontes terrígenas, naturais e antrópicas.

5 PROCESSOS DE SEDIMENTAÇÃO ESTUARINA: UMA ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DO ESTUÁRIO DO RIO CAPIBARIBE, NORDESTE BRASILEIRO

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de todo o tempo geológico, desde a formação da terra até os dias atuais, grandes mudanças ocorreram na superfície terrestre, na região costeira e plataforma continental. Flutuações do nível do mar, avanços e recuos de geleiras, exposição ou afogamento da plataforma continental, progradação e retrogradação da linha de costa, formação de ambientes costeiros e principalmente formação de sistemas estuarinos são alguns exemplos dessas mudanças (Marques, 2012). Durante o Quaternário Tardio, a zona costeira sofreu significativas modificações em sua paisagem, deixando a herança deste período geológico através de estruturas e depósitos sedimentares. As grandes variações climáticas que marcam esse período repercutiram sobre todos os ambientes do planeta (Fairbridge, 1961; Silva, 2017).

Dessa forma, os estudos geológicos em ambientes costeiros, como os estuários, por exemplo, auxiliam no entendimento dos processos complexos desses sistemas caracterizados por elevado poder hidrodinâmico e deposicional, os quais são influenciados por regimes fluviais, costeiros e marinhos (Perillo, 1996; Elliott e McLusky, 2002; Xavier, et al., 2016). E acrescentam a esses, a climatologia que, resultante dessa grande interação de processos, leva a uma variedade de mudanças em diferentes escalas de tempo e espaço (Fitzgerald; Knight, 2005; Marques, 2012; Xavier *et al*., 2016; Barcellos *et al*., 2017).

Além disso, os ambientes estuarinos são reconhecidos pelo seu potencial econômico e biológico, compreendendo grande biodiversidade e elevado interesse econômico que interfere, por sua vez, no equilíbrio ambiental desses sistemas. Impactos ambientais como por exemplo, ocupação urbana desordenada, agricultura, mudanças hidrológicas, poluição da água, poluição do solo, alterações sedimentares entre outros, modificam as características naturais dos estuários (Borborema et al., 2011; Pontual, 2001; Vasconcelos e Sá, 2011; Martins, 2017; Barcellos et al., 2017). Nos últimos anos muitos autores vêm mostrando a preocupação com relação à temática ecossocioambiental, discutindo o assunto e mostrando vários problemas que os ambientes estuarinos vêm experimentando (Barcellos, 2005; Zourarah *et al*., 2007; Yogui *et al*., 2010; Marques *et al*., 2011; Traini *et al*., 2015; Barcellos *et al*., 2016a, 2016b; Santos e Barcellos, 2017; Oliveira *et al*., 2014; Maciel *et al*. 2016; Martins, 2017; Travassos *et al*., 2016; Xavier *et al*., 2016; Zanardi-Lamardo *et al*., 2016; Monteiro *et al*., 2016; Barcellos *et al*., 2017; Xavier *et al*., 2017).

Os estuários podem guardar em si registros da sua história evolutiva bem como do seu comportamento dinâmico, fornecendo informações sobre a deposição dos sedimentos e processos que estão ocorrendo, e suas relações ecológicas. Os principais componentes que constituem os sedimentos são a matéria orgânica, partículas minerais e uma componente inorgânica de origem biogênica, como certas formas de carbonato (Wetzel, 1983; Oliveira *et al*., 2014). Dentre vários parâmetros, a matéria orgânica sedimentar, a granulometria e a porcentagem de carbonato de cálcio assumem um caráter esclarecedor para compreender a evolução em ambientes costeiros (Bader, 1955; Martins *et al*., 2007; Zhang *et al*., 2007; Watson *et al*., 2013; Oliveira *et al*. 2014).

Diante disso, direcionando a problemática para a zona costeira pernambucana, destacamos o estuário do Rio Capibaribe, o qual sofre diretamente com o desenvolvimento das atividades econômicas das últimas décadas, acompanhado do turismo e pressão da expansão urbana, associado ainda à dragagens, aterramento de áreas alagadas, desmatamento dos manguezais circunvizinhos, abertura de canais, entre outros (Travassos *et al*., 1991; Pontual, 2001; CPRH, 2008; Santos *et al*., 2009; Nóbrega, 2011, Oliveira 2014; Xavier et al., 2016; Barcellos et al, 2017; Xavier et al., 2017).

Levando-se em consideração esses aspectos, este artigo tem como objetivo analisar os processos sedimentares do estuário do Rio Capibaribe durante o período de 2010 a 2013 e 2015 a 2017, por meio de análises granulométricas, da matéria orgânica sedimentar e dos conteúdos de carbonato de cálcio, a fim de compreender o comportamento desses parâmetros associando-os às variações dos índices pluviométricos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

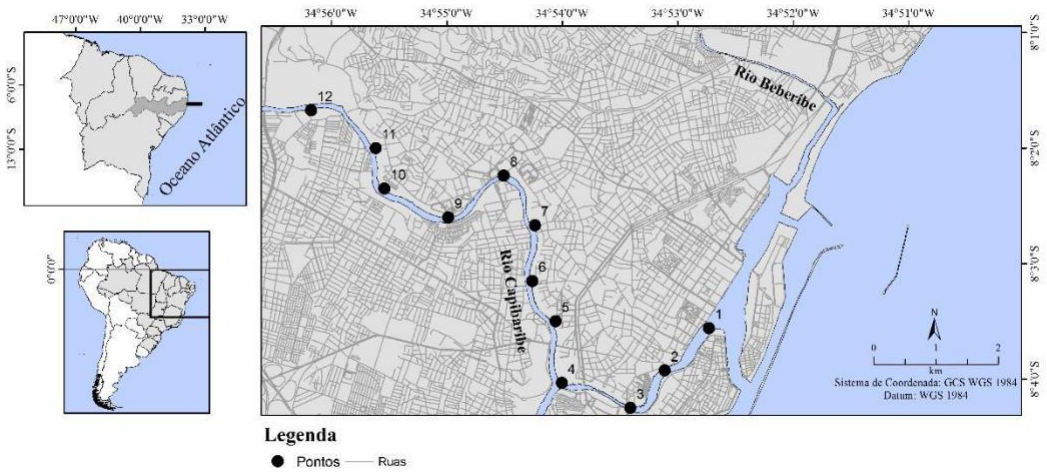
2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Capibaribe está localizada em Pernambuco, é o maior rio do estado, com uma extensão de aproximadamente 250 km e está contida nas mesorregiões do Agreste Pernambucano e da Zona da Mata. A nascente do rio encontra-se na Serra do Jacarará, nos municípios de Jataúba e Poção. Apresenta uma vazão de aproximadamente 20m^3/s e sua bacia hidrográfica possui aproximadamente 7.600 km^2, cortando 42 municípios ao longo do seu curso (CPRH, 2008) até sua foz, que está inserida na Região Metropolitana do Recife (RMR), um dos maiores centros populacionais do Brasil.

O estuário do Rio Capibaribe (08º03’S e 34º53’W), representado na Figura 1, abriga aproximadamente 4 milhões de habitantes (Bione *et al*., 2009; Monteiro *et al*., 2011; Xavier *et al*.,

2016; Barcellos *et al*., 2017) sua descarga é impulsionada pelo clima regional e é afetada por fenômenos de grande escala, como o El Niño. Apresenta padrão de circulação parcialmente estratificado. (Silva *et al*., 2010; Schettini *et al*., 2016).

Figura 1- Mapa de localização do estuário do rio Capibaribe e os pontos de sedimentos superficiais amostrados ao longo do sistema estuarino.



A região possui clima do tipo As', denominado tropical quente e úmido, com chuva de outono-inverno, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando uma estação seca ou de estiagem, que se prolonga de setembro a março, e uma estação chuvosa, de abril a agosto. A temperatura média anual é de 25°C, com média pluviométrica acima de 2.000 mm. A temperatura média anual registra valores de 25,5°C, com variação média anual de 21,9°C a 29,1ºC (Medeiros & Kjerfve, 1993; INMET, 2015).

Quanto a geologia do sistema, o estuário está inserido em duas unidades geológicas: (i) a Formação Barreiras, de idade do Terciário (Oligoceno e Plioceno), representada por coberturas sedimentares dispersas, constituída de um pacote de sedimentos de origem fluvio-aluvial, com fácies arenosas predominantes, além de camadas argilosas e siltosas de depósitos de baixa energia, que se intercalam; e (ii), o Quaternário, sedimentos mais recentes inconsolidados, que preenchem a própria planície, sendo representados por depósitos estuarinos, marinhos, de planície costeira e fluviais nas calhas dos rios (Alheiros *et al*., 1995; Rossetti *et al*., 2012; Rossetti *et al*., 2013;Oliveira *et al*., 2014; Martins *et al*., 2016; Xavier *et al*., 2016; Barcellos *et al*., 2017).

2.2. Metodologia

As amostras superficiais de sedimento foram coletadas nos anos de 2010 a 2013 e 2015 a 2017, durante os períodos secos e chuvosos. As amostragens foram realizadas com o auxílio de um GPS da marca Garmim e um amostrador de fundo (do tipo "*Van-Veen*"), em 12 pontos ao longo do estuário do Rio Capibaribe (Figura). Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração para diminuir a atividade biológica e química. Dessas amostragens foram realizadas análises granulométricas, determinação do teor de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e matéria orgânica total (MOT).

Para a obtenção dos dados granulométricos, as análises obedeceram a metodologia de peneiramento e pipetagem proposta por Suguio (1973), com posterior tratamento estatístico segundo Folk & Ward (1957) e classificados de acordo com o diagrama de fácies sedimentares de Shepard (1954) realizados no programa *Sysgran 3.0* (Camargo, 2006).

As análises do conteúdo de matéria orgânica total (MOT) e carbonato de cálcio ($CaCO_3$) obedeceram às metodologias descritas por Carver (1971) que consiste em um ataque químico com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2 a 10%) e Ácido Clorídrico (HCl a 10%), respectivamente. Os resultados, expressos em porcentagens, foram obtidos através da diferença de peso inicial e peso final. Além desses, os dados de índice pluviométricos foram obtidos junto ao INMET, referentes aos anos estudados, e serão utilizados como ferramentas na compreensão dos processos sedimentares.

3. RESULTADOS

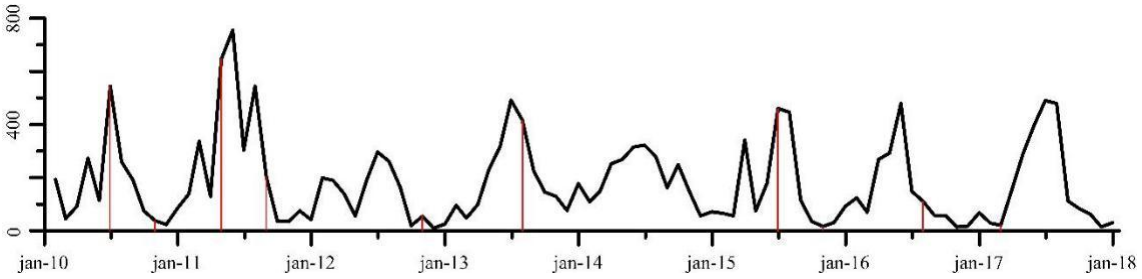
De forma geral, os resultados granulométricos demonstraram características heterogêneas entre os períodos e os anos estudados, destacando a predominância de sedimentos arenosos no período chuvoso de 2011 (51,6±33.1), no período chuvoso e seco de 2015 (70.3±30.0 e 45.0±30.2, respectivamente), no chuvoso de 2016 (46.6±32.6) e no período seco de 2017 (52.0±36.0). Nos períodos secos e chuvosos de 2010, secos de 2011 e de 2012, e período chuvoso de 2013, registraram altas porcentagens de silte e argila, caracterizados como períodos lamosos (Tabela 1).

Tabela 1- Porcentagens de Máxima, Mínima, Média e Desvio Padrão (Mx, Mn, M±DP, respectivamente) dos dados Sedimentológicos e geoquímicos do estuário do Rio Capibaribe-PE antes e pós dragagem (A linha em destaque representa a dragagem que ocorreu no primeiro semestre de 2012).

		% Cascalho	%Areia	% Silte	%Argila	%$CaCO_3$	%MOT
Jul/10	Máximo	6,7	40,0	77,4	64,5	19,0	16,3
	Mínimo	0,1	5,7	22,2	13,2	6,3	9,1
	Média	1,1±1,9	19,1±10,8	44,7±17,2	35,0±14,7	11,0±3,6	11, 9±2,3
Nov/10	Máximo	0,4	34,6	64,5	52,4	24,0	19,3
	Mínimo	0,0	2,8	34,3	21,5	12,1	9,6
	Média	0,1±0,1	10,1±10,5	46,6±8,4	43,2±11,1	16,4±3,9	17,0±3,3
Mai/11	Máximo	1,1	100,0	54,0	57,7	22,6	18,1
	Mínimo	0,0	3,0	0,0	0,0	1,7	1,5
	Média	0,2±0,3	51,6±33,1	26,5±19,2	21,7±16,8	10,4±7,8	6,8±4,8
Set/11	Máximo	2,0	74,8	73,7	59,3	48,7	72,8
	Mínimo	0,1	7,6	9,4	4,8	2,5	2,9
	Média	0,6±0,6	47,0±24,6	26,5±16,8	25,9±16,4	13,3±12,6	16,4±21,2
Nov/12	Máximo	19,9	93,0	69,0	51,0	31,1	11,3
	Mínimo	0,2	1,3	5,2	1,1	2,0	3,7
	Média	2,2±5,6	23,8±28,6	46,2±18,9	27,7±15,9	12,9±7,5	6,9±2,2
Ago/13	Máximo	10,7	79,9	48,4	76,2	32,7	19,4
	Mínimo	0,0	0,3	5,1	8,5	3,9	3,3
	Média	1,6±3,4	31,0±28,9	24,1±11,6	43,2±24,8	13,1±7,7	9,9±4,7
Jul/15	Máximo	17,9	99,9	36,0	47,2	36,7	20,9
	Mínimo	0,0	15,6	0,0	0,0	0,9	0,8
	Média	5,0±6,9	70,3±30,0	11,3±13,9	13,3±17,5	10,0±10,8	7,3±7,5
Nov/15	Máximo	41,1	90,4	75,9	43,9	49,2	18,7
	Mínimo	0,1	10,9	0,0	0,0	1,9	1,5
	Média	9,8±12,3	45,0±30,2	32,7±27,2	12,5±11,8	28,2±16,2	7,2±5,4
Ago/16	Máximo	23,2	92,0	48,9	80,9	21,5	34,4
	Mínimo	0,0	2,2	0,4	0,0	1,9	1,5
	Média	2,8±6,7	46,6±32,6	18,7±16,5	31,9±26,7	11,3±6,4	11,5±8,9
Mar/17	Máximo	35,4	99,9	51,5	70,4	35,2	15,4
	Mínimo	0,0	3,2	0,0	0,0	1,4	1,3
	Média	4,4±10,3	52,0±36,0	16,7±16,7	26,8±25,8	14,4±9,9	7,9±4,5

Espacialmente, o estuário do rio Capibaribe, entre os anos de 2010 a 2011, apresentou um comportamento com características distintas entre os períodos secos e chuvosos. Durante os períodos chuvosos, a região do médio estuário (dos pontos 5 ao 12) apresentou predominância de sedimentos arenosos com altas porcentagens de areia (>50%). Diferentemente, dos pontos localizados no baixo estuário, esses apresentaram predomínio de sedimentos lamosos (>80%). Como podemos observar na Figura 2, os anos de 2010 e 2011 foram os mais chuvosos, com 1933,4 e 3245,7 mm de precipitação anual, destacando a forte influência da chuva para estes anos.

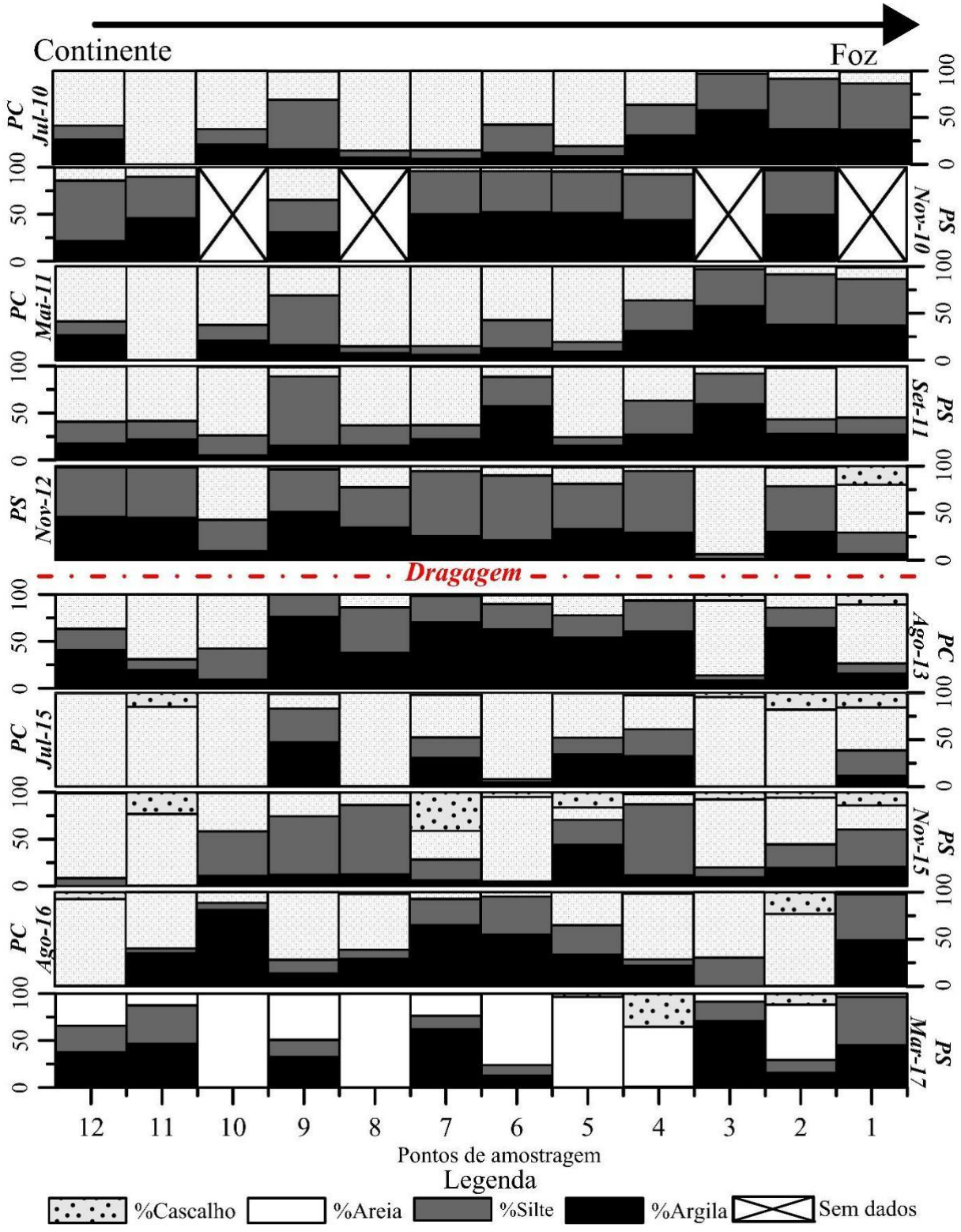
Figura 2- Precipitação da Região metropolitana de Recife de janeiro de 2010 a janeiro de 2018. As linhas em vermelho representam os meses em que foram realizadas as coletas de sedimento deste estudo.



Fonte: (Adaptado de INMET, 2015).

Em 2012 e 2013 apresentaram características semelhantes, com predomínio de sedimentos lamosos em toda a porção do estuário, diferenciando apenas entre os pontos mais a montante do médio estuário (10 a 12) que apresentaram características mais arenosas (Figura 3).

Figura 3- Porcentagem de Cascalho, Areia, Silte e Argila no estuário do Rio Capibaribe-PE, no período chuvoso (PC) e período seco (PS) dos anos 2010 a 2013 e 2015 a 2017. A linha vermelha representa o ano em que o estuário sofreu dragagem.



Para o ano de 2015, os resultados demonstraram, para o período chuvoso, um predomínio de sedimentos arenosos em praticamente todo o sistema estuarino, exceto por três pontos localizados na porção do baixo e médio estuário (4, 7 e 9, respectivamente). Para o período seco, cinco dos doze pontos ainda apresentaram predominância de areia, no qual dois localizados na porção mais a montante do médio estuário (pontos 11 e 12), um na porção média do médio estuário (ponto 6) e dois pontos no baixo estuário (pontos 2 e 3) (Figura 3)

O período chuvoso de 2016 demonstrou a predominância de sedimentos arenosos, contudo cinco pontos apresentaram altas porcentagens de sedimentos lamosos (> 60%), quatro na porção média do médio estuário e um no baixo estuário. Para o período seco de 2017, o estuário apresentou um comportamento heterogêneo quanto à predominância no tipo de sedimento depositado, onde na porção mais a montante do médio estuário dois pontos predominaram no tipo de sedimentos lamosos (> 70%), como também a ocorrência na porção média do médio estuário e no baixo estuário (Figura 3).

Os resultados de carbonato de cálcio apresentaram diferenças entre os períodos chuvosos e secos. Os períodos chuvosos apresentaram as menores porcentagens de carbonato (médias <13.1%) quando comparados aos períodos secos (médias >13.1%) (Figura 4). As maiores porcentagens de carbonato (> 40%) estão localizados nos pontos próximos a foz do sistema estuarino, área de maior influência marinha. No entanto, o período sazonal influenciou de forma expressiva na distribuição desses valores. Durante as épocas chuvosas, o sistema estuarino apresentou um comportamento com baixa porcentagem de carbonato (< 11%), principalmente no médio estuário, além de observar-se também uma diminuição nas porcentagens de carbonato em alguns pontos localizados no baixo estuário. Apesar das concentrações de $CaCO_3$ serem bastante expressivas nos períodos secos e no baixo estuário (Máxima de 49,2% em 2015), em alguns pontos localizados no médio estuário ocorreram incrementos nos teores de carbonato (máximas de 20% de Carbonato no ponto 6 do médio estuário) (Figura 4).

Os dados das porcentagens de matéria orgânica para o período analisado demonstraram que os meses de novembro 2010, setembro 2011, agosto 2013, julho 2015, agosto 2016 apresentaram as maiores porcentagens. Contudo, dentre esses meses, o período seco de 2011 registrou o maior conteúdo de matéria orgânica com 72.8% (Figura 5). Com relação à distribuição espacial desse parâmetro, foi observado que durante os períodos chuvosos, as maiores porcentagens de MOT estão localizadas nas proximidades do baixo estuário. Já para os períodos secos, as maiores porcentagens foram registradas na porção do médio estuário (Figura 5).

Figura 4- Porcentagem de Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) do Rio Capibaribe-PE, nos anos 2010 a 2013 e 2015 a 2017.

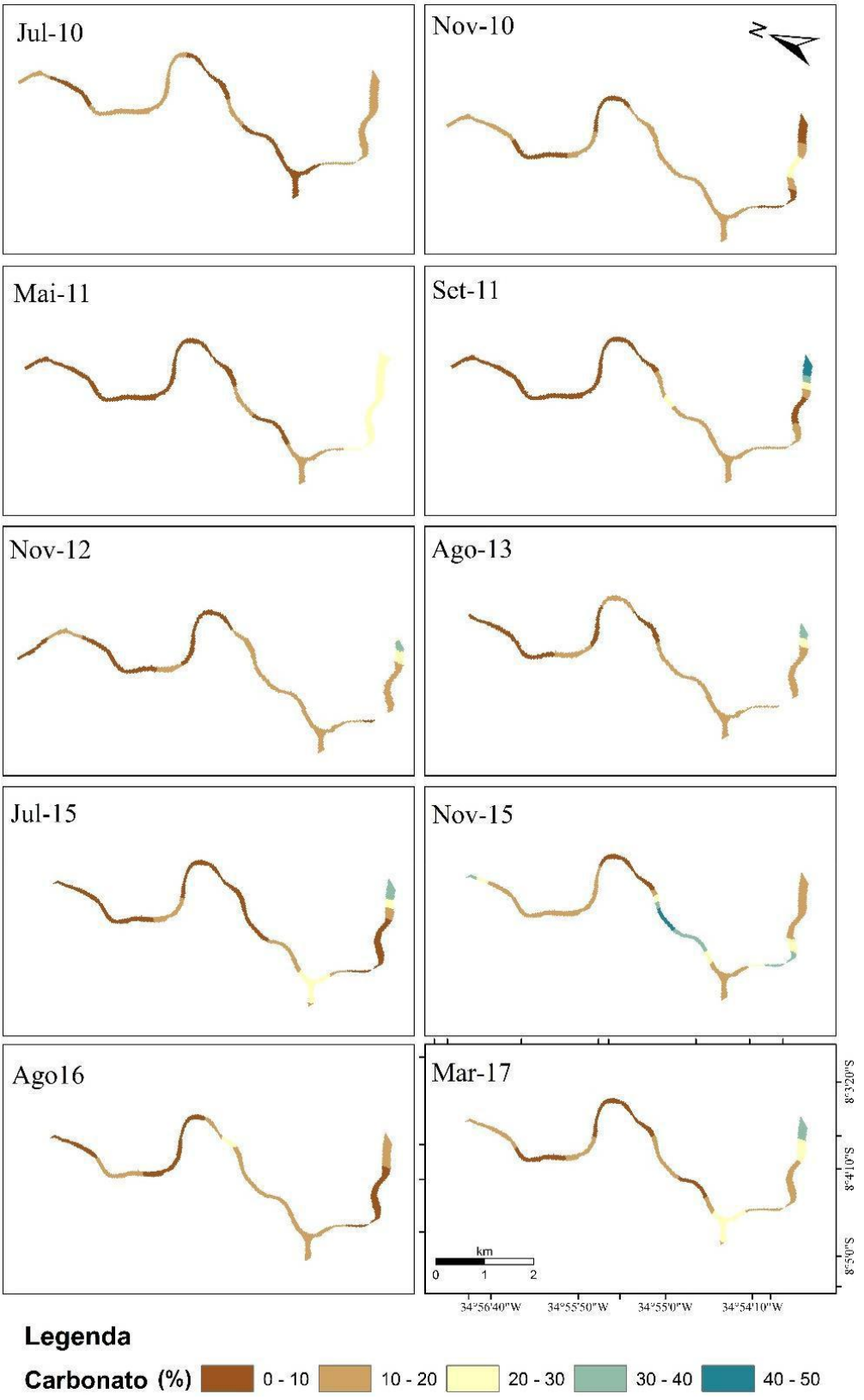
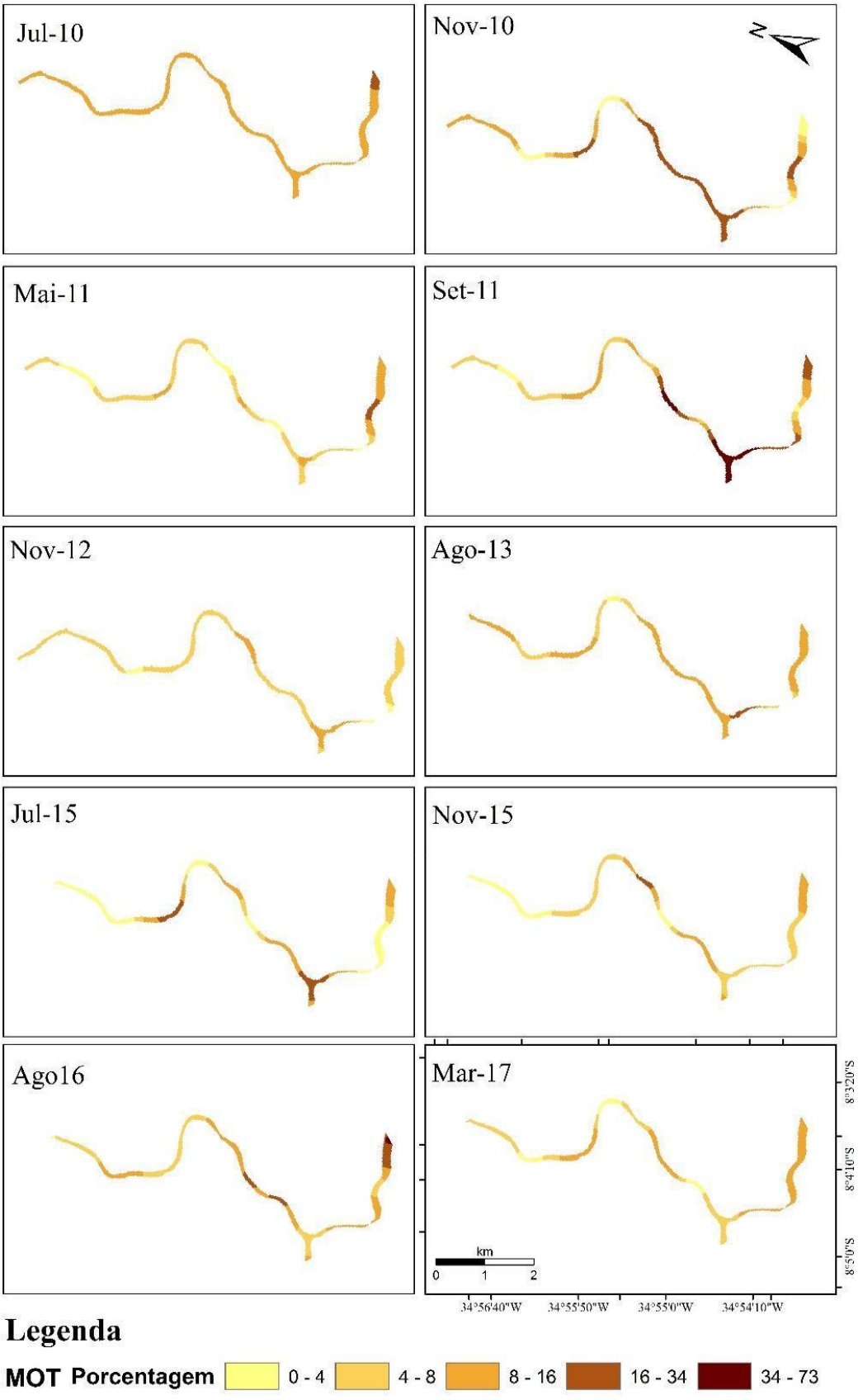


Figura 5- Porcentagem de Matéria Orgânica Total (MOT) do Rio Capibaribe-PE, nos anos 2010 a 2013 e 2015 a 2017.



4. DISCUSSÃO

O estuário do Rio Capibaribe é uma área costeira intensamente urbanizada, que vem sofrendo diversas alterações em sua ecologia como criação de construções antrópicas. Xavier *et al.* (2016), Barcellos *et al.* (2017) e Xavier *et al.* (2018) relatam que as modificações antrópicas na geomorfologia do estuário do rio Capibaribe é um dos fatores que alteraram o padrão de sedimentação dentro do sistema estuarino nas últimas décadas.

Outro fator que possivelmente está influenciando nos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos é a crescente expansão urbana de forma desordenada. Esse processo pode incrementar os valores de matéria orgânica, por meio do aumento do volume de efluentes domésticos e industriais, não tratados lançados, na região estuarina (Schettini *et al.*, 2016), bem como, no aumento da disponibilidade de sedimentos finos, com o aterramento de áreas alagáveis para a construção civil e pela instalação de palafitas nas áreas marginais dos canais estuarinos locais (Xavier *et al*., 2016).

Além dos fatores antrópicos, o comportamento dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos no estuário do Rio Capibaribe é influenciado também por agentes naturais, dentre eles destacam-se os índices pluviométricos. As variações na intensidade desse parâmetro são um dos responsáveis pelo padrão de distribuição dos sedimentos e pela variação longitudinal das concentrações de matéria orgânica e de carbonato de cálcio na área (Marcondes, 2009; Oliveira *et al*., 2014).

Nos períodos de maiores índices pluviométricos foi observado dois comportamentos para o estuário. O aumento nesses índices provoca um incremento nas velocidades de corrente, principalmente de vazante (Schettini *et al.,* 2016). Como reflexo, esse incremento nas velocidades, transporta mais sedimentos arenosos de origem fluvial terrígena, geralmente depositados na calha principal do rio. Além de influenciar no transporte e na distribuição de sedimentos arenosos, os sedimentos lamosos lixiviados do continente ou das margens do estuário ficam em suspensão, são transportados em direção da foz do sistema estuarino e depositados na região do baixo estuário (Perillo, 1995; Oliveira, 2014; Oliveira *et al*., 2014; Schettini *et al*., 2016; Martins, 2017) (Figura 3).

A influência do período chuvoso não ocorre apenas na sedimentação. Os conteúdos de matéria orgânica e os teores de carbonato também são influenciados pelas variações nos índices pluviométricos. Com o aumento da descarga fluvial, a matéria orgânica é carreada das áreas a montante da bacia, das áreas de mangues marginais e do material orgânico doméstico e industrial para toda a região do estuário, podendo chegar até a plataforma continental adjacente, tornando-se um estuário exportador de sedimentos e matéria orgânica sedimentar (Pardal *et al*., 2016; Oliveira *et*

al., 2014). O incremento nos conteúdos de matéria orgânica, em praticamente toda a extensão do médio estuário, interfere na produção de carbonato marinho diminuindo suas concentrações e sua distribuição ao longo do sistema estuarino (Paraopkari et al., 1991). No entanto, o estuário apresentou correlação moderada entre a matéria orgânica total e o carbonato de cálcio (r^2=0,5) demonstrando um possível crescimento da comunidade bentônica de carapaça carbonáticas devido ao aumento da demanda de nutrientes oriundos da matéria orgânica continental (Lana *et al*., 1997; Bosence & Wilson, 2002).

Para o período seco, o estuário do Rio Capibaribe apresentou um comportamento ligeiramente diferenciado do apresentado para o período chuvoso. A diminuição nos índices pluviométricos provocou decréscimo nos volumes dos fluxos fluviais, permitindo uma maior influência marinha no estuário, principalmente na região do baixo estuário. Nesses períodos, a região do médio estuário, devido a circulação restrita, promove o aumento da deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica. Diferentemente da região do baixo estuário que apresentou maiores porcentagens de sedimentos arenosos de origem marinha e incremento nos valores de carbonato. Barcellos *et al.* (2016b) observaram uma configuração semelhante com o sistema estuarino do Rio Jaboatão.

No entanto, o sistema estuarino apesar de apresentar um comportamento diferente entre os períodos de maior e menor pluviosidade nos parâmetros sedimentares e geoquímicos, apresentou modificações interanuais bem evidentes. Nos anos de 2010 e 2011, o estuário do Rio Capibaribe apresentou, para o período chuvoso, características sedimentares com granulação mais arenosa, baixos teores de matéria orgânica e baixos teores de carbonato. Já o período seco registrou maiores porcentagens de lamas, altos conteúdos de matéria orgânica e elevados teores de carbonatos. Essa característica para os períodos chuvosos refletem a influência das chuvas na hidrodinâmica local, o mês de julho e novembro de 2010 registraram, respectivamente, 259.4 e 23.5 mm de chuvas. Assim como nos meses de maio e setembro de 2011 que registraram 755.7 e 35.7 mm de chuvas respectivamente. Santos e Barcellos (2017) observaram o padrão contrário no estuário do Rio Formoso, com enriquecimentos de sedimentos lamosos no período chuvoso e empobrecimentos desses sedimentos no período seco para os sedimentos superficiais.

Para os anos de 2012 e 2013, obras de dragagem foram realizadas no médio estuário do rio Capibaribe, com objetivo de melhorar a navegabilidade do rio para a implementação de transportes fluviais (CPRH, 2012). Porém, essa dragagem remobilizou os sedimentos, modificando o padrão sedimentar do sistema, refletindo nos aumentos das porcentagens de lama e no conteúdo da matéria orgânica (r^2= 0,7), bem como na diminuição das porcentagens de carbonato registrada para toda a

extensão do estuário, para os dois períodos analisados de 2012 e 2013, com uma correlação de r^2=0,1 entre lama e carbonato. Barcellos *et al.* (2017) afirmou que a região do médio estuário vem sendo impactada desde o século XIX, porém não havia registros de obras de dragagem nessa área do estuário, apenas na região do baixo estuário (Xavier *et al*., 2016). Melo e Azevedo (2016) afirmam que as dragagens aumentaram entre 2 a 4 metros a profundidade de navegação do Rio Capibaribe, observando também que em determinadas áreas do rio há mudança no eixo do canal principal de escoamento do sistema estuarino.

Além desses parâmetros, as chuvas também podem ter influenciado no aumento das porcentagens de sedimentos lamosos. Os meses de julho e novembro de 2012 registraram, respectivamente, valores de 491.4 e 76.5 mm de chuva. Foi observado também que para o período seco, o mês de outubro registrou 129.2 mm de chuvas, valores muito acima do esperado para o período climático.

Possivelmente, o comportamento sedimentar dos anos de 2015 a 2017 pode estar atrelado com as obras de dragagem ocorridas no estuário. Essas obras não ocorrem em toda extensão do Rio Capibaribe, aprofundando o leito apenas em certos pontos. No entanto o ano de 2015 a 2017, apesar da característica heterogênea quanto ao tipo de sedimento, apresentou predomínio de sedimentos arenosos praticamente em todo o sistema estuarino. Essas regiões que ocorreram o aprofundamento podem estar funcionando como uma armadilha de sedimentos, acumulando sedimentos arenosos de origem fluvial nessas áreas de depressões.

5 CONCLUSÃO

A dinâmica sedimentar e geoquímica do estuário do Rio Capibaribe-PE exibiu padrão sazonal e variação interanual. Durante os períodos chuvosos foram observados dois comportamentos para o estuário: (i) incremento de sedimentos arenosos de origem fluvial terrígena, geralmente depositados na calha principal do rio, e (ii) deposição de sedimentos finos na região do baixo estuário. Para os períodos secos, a deposição de finos e de matéria orgânica aumentaram no médio estuário, maiores porcentagens de sedimentos arenosos de origem marinha e incremento nos valores de carbonato para o baixo estuário. O incremento nos conteúdos de matéria orgânica no médio estuário interferiu na produção de carbonato marinho, diminuindo suas concentrações e sua distribuição ao longo do sistema estuarino.

Antes dos processos de dragagem no sistema estuarino, ocorridos no ano de 2012, o estuário do Rio Capibaribe apresentou, para o período chuvoso, características sedimentares com granulação mais arenosa, baixos teores de matéria orgânica e baixos teores de carbonato. Para o período seco, o estuário registrou maiores porcentagens de lamas, altos conteúdos de matéria orgânica e elevados teores de carbonatos. Diferentemente, dos resultados observados pós-dragagem, que remobilizaram os sedimentos superficiais, modificando o padrão sedimentar do sistema, refletindo nos aumentos das porcentagens de lama e no conteúdo da matéria orgânica, bem como na diminuição das porcentagens de carbonato registradas para toda a extensão do estuário, principalmente para os anos de 2012 e 2013. Já o comportamento sedimentar para os anos de 2015 a 2017 apresentou predomínio de sedimentos arenosos praticamente em todo o sistema estuarino, recorrentes de regiões que estão atuando como armadilhas de sedimentos, possivelmente, ligados às obras de dragagens ocorridas em determinadas áreas do estuário.

Por fim, a crescente expansão urbana, as modificações na geomorfologia do estuário e o incremento de efluentes domésticos e industriais, somados aos índices pluviométricos e as operações de dragagens foram fatores determinantes na dinâmica sedimentar e no padrão geoquímico do sistema estuarino do rio Capibaribe-PE.

6 FRACIONAMENTO INTERANUAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DENSAMENTE URBANIZADO (NORDESTE, BRASIL)

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente 60% das grandes cidades de todo o planeta estão localizadas próximas a regiões estuarinas, pois são um dos ecossistemas mais produtivos do mundo, representando a grande importância ecológica e socioeconômica destes ambientes. (Braga *et al.*, 2000). Dentre os vários tipos de ambientes sedimentares costeiros, os estuários se destacam por serem altamente dinâmicos, sendo ecossistemas de transição entre o oceano e o continente, onde atuam processos de mistura, circulação e estratificação os quais são controlados basicamente por descarga de água doce, geomorfologia do corpo estuarino e padrões de circulação da região costeira adjacente (Pritchard, 1967; Kjerfve, 1990; Perillo, 1996; Elliott e McLusky, 2002). Estas regiões são importantes zonas de transferência de sedimentos entre os ecossistemas marinho e fluvial; os acúmulos de sedimentos que se formam consequentemente favorecem o acúmulo de contaminantes provenientes de atividades antrópicas (Ridgway e Shimmield, 2002).

Nesses sistemas costeiros, o excessivo aporte de nutrientes, proveniente das atividades agrícolas, industriais e de esgoto doméstico, têm prejudicado a qualidade desses ambientes, e afeta, direta ou indiretamente, a saúde humana, além de comprometer a biodiversidade ambiental (Berbel, 2008). O que torna o caso mais preocupante é que estimativas indicam que em 2025, aproximadamente 75% da população mundial residirá em áreas costeiras (Bianchi, 2007), e essa crescente pressão pode agravar ainda mais as modificações antrópicas que este ambiente vem sofrendo.

Neste contexto, sabe-se que o fósforo não é um elemento tóxico à saúde dos seres vivos, sendo essencial à manutenção da vida, podendo sedimentar-se ou ser utilizado pelos seres vivos. Esse nutriente apresenta um ciclo essencialmente endógeno, sem um componente importante na atmosfera, onde sua principal fonte na natureza é a litosfera, em que parte do fosfato é transportada para a hidrosfera. Sendo assim, a sedimentação do fósforo pode ser utilizada como parâmetro para se avaliar a entrada deste nutriente em corpos hídricos, através de fontes naturais, efluentes industriais, domésticos e agrícolas, além de atividades ligadas ao crescente aumento populacional (Rao e Berner, 1997; Manahan, 2005).

Os estudos relacionados à especiação do fósforo sedimentar iniciaram com Chang *et al.*, (1957) seguindo para estudos em lagos por Lucotte e d'Angelian (1985) e Willians *et al.*, (1976). Em 1990, este último foi modificado por Burros *et al.*, (1990). Já em 1992, Ruttenberg propôs uma metodologia específica para sedimentos marinhos. Em 2001, Ruban *et al.*, indicou e descreveu o método proposto por Willians *et al.*, (1976). E por fim, em 2004, Pardo *et al.*, descreveu o protocolo SMT ("Standards, measurements and testing programme"), os quais são utilizados em diversos trabalhos. Contudo, atualmente as interações entre sedimento e coluna d'água ainda não foram totalmente compreendidas.

A presença deletéria do fósforo no meio ambiente está relacionada com o aporte excessivo nas águas. Segundo Esteves (1988) e Pivelli (2005) as fontes naturais do fósforo estão relacionadas principalmente com processos erosivos da bacia de contribuição; à decomposição dos organismos aquáticos e dos vegetais, que compõem as matas ciliares; ao assoreamento do corpo d'água; ao intemperismo das rochas; e à intensidade das trocas ocorridas entre o sedimento e a coluna d'água. Sua contribuição artificial está ligada com a intensa atividade antrópica no sistema, destacando o escoamento superficial de áreas cultivadas, no caso os fertilizantes de áreas agrícolas; os efluentes industriais; e, principalmente, o lançamento de esgotos domésticos, constituídos de detergentes e efluentes humanos (Strickland e Parsons, 1968; Bosquilha 2002; Aguiar e Braga, 2007). O excesso de fósforo inorgânico em ambientes costeiros e principalmente estuarino são indicativos de poluição podendo desencadear processos de eutrofização, ou fertilização do sistema (Strickland e Parsons, 1968).

O comportamento do fósforo relaciona-se diretamente com o nível e intensidade de suas contribuições, sejam elas naturais ou artificiais. Estima-se que seu ciclo biogeoquímico esteja cada dia mais prejudicado, as taxas de retorno estão sendo reduzidas em comparação com as suas perdas, com impactos na disponibilidade de suas fontes naturais em decorrência dos processos de eutrofização. Calcula-se que aproximadamente 2 milhões de toneladas de fósforo são lançados nos ambientes e cerca de 60 mil retornam ao meio de origem (Branco e Rocha, 1987; Braga, 2002; Quevedo e Paganini, 2011). Além disso, o retorno do fósforo sedimentado em ambientes marinhos ocorre de forma muito lenta (Branco e Rocha, 1987; Esteves, 1988; Derísio, 2000; Quevedo e Paganini, 2011).

Neste contexto, o objetivo deste artigo é analisar a distribuição de fósforo e de suas especiações químicas em sedimentos estuarinos (fósforo total, orgânico e inorgânico), a fim de avaliar

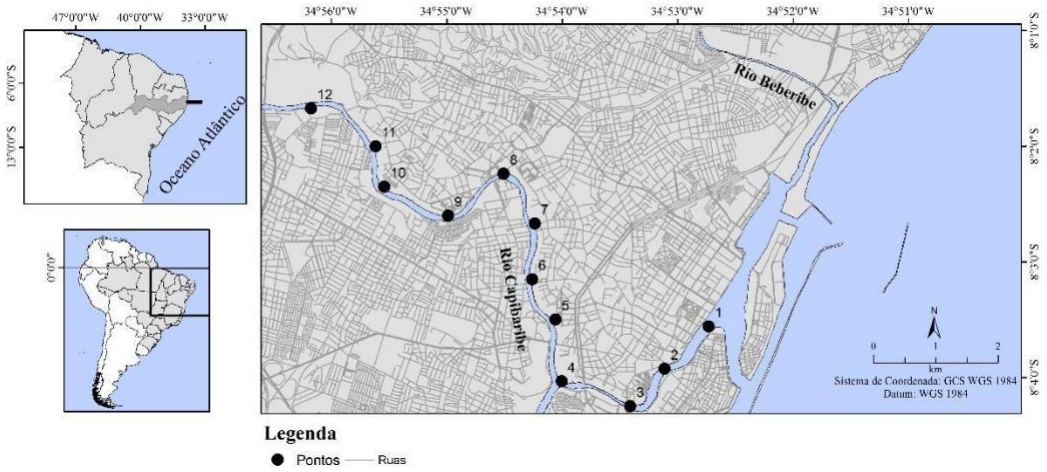
o grau de influência natural e antrópica, bem como verificar suas relações com a granulometria e a matéria orgânica total do estuário do Rio Capibaribe-PE durante 5 anos (2010, 2011, 2015, 2016 e 2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estuário do rio Capibaribe está localizado na Região Metropolitana do Recife (RMR), apresentando aproximadamente 20 km de extensão e percorre 4 municípios. A RMR abriga cerca de 3,7 milhões de habitantes, deste montante aproximadamente 235.000 e 218.000 habitantes residem no baixo e médio estuário deste rio, respectivamente. Sua bacia hidrográfica possui aproximadamente 7.720 km^2 de área de drenagem, a maior do litoral pernambucano. Sua nascente localiza-se no agreste, a 250 km da foz, caracterizando-se como um rio intermitente, que passa a ser perene somente na cidade de Surubim (PE) a cerca de 50 km do oceano (Bione *et al.*, 2009; Monteiro *et al.*, 2011; Xavier *et al.*, 2016; Barcellos *et al.*, 2017) (Figura 1).

Figura 1- Área de estudo destacando os pontos amostrados, em 2010, 2011, 2015 2016 e 2017.



Geologicamente, o sistema estuarino está inserido em duas unidades geológicas: (i) a Formação Barreiras, de idade do Terciário (Oligoceno-Plioceno), representada por coberturas sedimentares dispersas, constituída de um pacote de sedimentos de origem fluvio-aluvial, com fácies arenosas predominantes, além de camadas argilosas e siltosas de depósitos de baixa energia, que se intercalam e, (ii) o Quaternário, sedimentos mais recentes inconsolidados, que preenchem a própria planície, sendo representados por depósitos estuarinos, marinhos, de planície costeira e fluviais nas calhas dos rios (Alheiros *et al.*, 1995; Oliveira, 2014; Martins *et al.*, 2016; Xavier *et al.* 2016; Barcellos *et al.*, 2017).

Quanto ao clima, é classificado como tropical do tipo As', predominando na região dois tipos climático. O período seco, ou verão, que ocorre nos meses de setembro a março com períodos de maior insolação e baixos índices pluviométricos, com médias mensais de aproximadamente 80 mm, e o período chuvoso, ou inverno, que ocorre nos meses de abril a agosto, o qual registra os maiores índices pluviométricos com média aproximada de 270 mm (Medeiros e Kjerfve, 1993). A temperatura média anual registra valores de 25,5ºC, com variação média anual de 21,9ºC a 29,1ºC (INMET, 2015).

Em relação às características oceanográficas, o estuário do rio Capibaribe está submetido a um regime de mesomaré semidiurna com amplitudes de 0 a 2,5 m. É classificado como um estuário do tipo bem misturado, apresentando vazão média de aproximadamente 20 $m^3.s^{-1}$, com mínima registrada no mês de janeiro (0,2 $m^3.s^{-1}$) e máxima no mês de junho (125 m³.s-1). Para as velocidades de correntes de maré, Schettini *et al.* (2016) registrou para o baixo estuário do rio Capibaribe velocidades máximas entorno de 0,65 $cm.s^{-1}$. Quanto à circulação estuarina, é conduzida preferencialmente pelas marés, com influência da descarga do rio e efeitos da flutuabilidade durante o período chuvoso.

Em termos batimétricos, o sistema estuarino é relativamente raso com praticamente toda sua extensão registrando cotas batimétricas abaixo dos 5 m, e em alguns pontos com valores acima de 14 m, principalmente na área portuária, relacionados à processos de dragagens realizados no decorrer dos anos nesta porção dos canais estuarinos (Oliveira *et al.*, 2014).

As margens do estuário do rio Capibaribe são cercadas por pequenos e degradados manguezais compostas por espécies de *Rizhophora mangle, Laguncularia racemosa, Avicennia schaueriana*. Apresenta uma área preservada de mangue, com aproximadamente 20 km² inserida na zona urbana do Recife (PE), denominada de Parque dos Manguezais (Silva *et al.*, 2010; Xavier *et al.*, 2016). Os processos erosivos e de ocupação deste ecossistema são os principais responsáveis pela presença de sedimentos finos ricos em matéria orgânica durante o processo de sedimentação nas margens do estuário (Xavier *et al.*, 2016; Barcellos *et al.*, 2017).

O estuário do rio Capibaribe recebe grande carga de efluentes doméstico-industriais além dos aportes sedimentares naturais (continentais/marinhos). Apesar da intensa degradação, apresenta fundamental importância ecológica e socioeconômica para a população ribeirinha, principalmente devido à sua atuação pesqueira. Seus bancos intermareais apresentam grande produtividade e são intensivamente explorados pela população local, especialmente para a captura de moluscos (Feitosa *et al.*, 1999).

2.2. Metodologia

Doze amostras de sedimentos superficiais ao longo do rio Capibaribe foram amostradas nos meses de julho e novembro de 2010, maio e setembro de 2011, julho e novembro de 2015, agosto de 2016 e março de 2017. As amostragens foram realizadas com o auxílio de um GPS da marca Garmim e um amostrador de fundo (do tipo "Van-Veen"), em 12 pontos ao longo do estuário do Rio Capibaribe (Figura 28). Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração para evitar ação bacteriana após a coleta e reduzir a alteração geoquímica (Figura 28).

Dessas amostragens foram realizadas análises granulométricas, determinação do teor de matéria orgânica total (MOT) e fósforo sedimentar (orgânico, inorgânico e total)

2.2.1. Variação Pluviométrica

Os dados de precipitação mensal foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, na Estação Recife-A301 (Latitude: -8.059280º; Longitude: -34.959239º).

2.2.2. Determinação dos teores da matéria orgânica total

As análises do conteúdo de matéria orgânica total (MOT) obedeceram à metodologia descrita por Carver (1971) que consiste em um ataque químico com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2 a 10%). Os resultados, expressos em porcentagens, foram obtidos através da diferença de peso inicial e peso final.

2.2.3. Fracionamento granulométrico

As análises granulométricas obedeceram à metodologia de peneiramento e pipetagem proposta por Suguio (1973), com posterior tratamento estatístico segundo Folk e Ward (1957) e classificados de acordo com o diagrama de fácies sedimentares de Shepard (1954) realizados no programa *Sysgran 3.0* (Camargo, 2006).

2.2.4. Fracionmento das concentrações de fósforo sedimentar

A extração de fósforo inorgânico sedimentar (PIs) seguiu o método proposto por "Standards, measurements and testing programme" (protocolo SMT), descrito por Pardo *et al.,* (2004). Para a análise das frações químicas de fósforo total (PT) foi realizado o meio direto seguindo a metodologia segundo Ruban *et al.,* (2001).

As concentrações foram determinadas pelo método espectrofotométrico de Murphy e Riley (1962) descrito por Watanabe e Olsen (1965). A porção orgânica do fósforo sedimentar (PO) foi obtida através da diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico (PO= PT - PI).

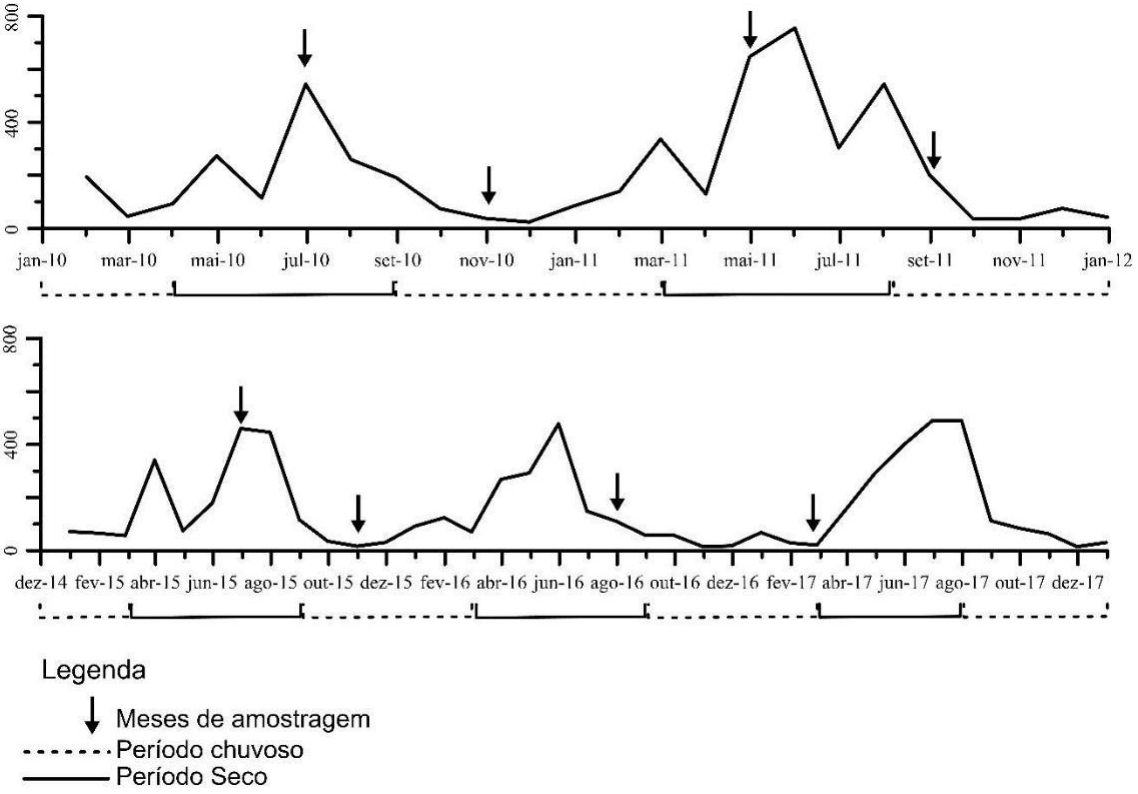
2.3. Análises estatísticas

Para as análises estatísticas foram realizados os índices de correlação de Pearson, obtidos utilizando o software *BioStat 9.0*. Além dessa, utilizou-se o método estatístico da Análise de Componentes Principais-ACP a fim de identificar grupos sedimentares com características semelhantes entre os pontos (Romesburg, 1984; Oliveira *et al.*, 2014; Barcellos *et al.*, 2016a; Barcellos et. al., 2016b; Santos e Barcellos, 2017).

3. RESULTADOS

No geral, os anos de 2010 e 2011 apresentaram maiores intensidades pluviométricas quando comparados com os anos de 2015 a 2017. O período chuvoso e o período seco de 2010 apresentaram taxa de precipitação de 1382,1 e 220 mm, respectivamente. Em 2011, ocorreram as maiores taxas de precipitação registradas neste trabalho, com 2453,2 mm para o período chuvoso e 187,1 mm para o período seco. Para o ano de 2015, o índice pluviométrico do período chuvoso foi de 1276,3 mm e do período seco foi de 174,1 mm. Em 2016/2017, o período de máxima pluviosidade registrou 1087,6 mm de chuva, e mínima de 363 mm para o período de baixa precipitação (setembro de 2016 a março de 2017) (Figura 2).

Figura 2-Precipitação média mensal da Região metropolitana do Recife, de janeiro de 2010 a janeiro de 2018.



Fonte: (Adaptado de Inmet 2018).

Para a Matéria Orgânica Total (MOT), a porcentagem variou de 0,80 a 72,80% ao longo dos anos estudados. O período chuvoso e o período seco de 2010 apresentaram médias de 11,94±2,34% e 16,98±3,26%, respectivamente. Para os períodos chuvoso e seco de 2011, as médias foram de 6,78±4,81% e 16,39±21,16%, respectivamente. Para o ano de 2015, o período de maior e menor precipitação registraram médias de 7,26±7,47 e 7,22±5,39%, respectivamente. Por fim, o período chuvoso e o período seco de 2016/2017 apresentaram médias de 11,33±6,37 e 14,37±9,92%, respectivamente (Figura 3).

Em relação aos parâmetros sedimentológicos, o diâmetro médio para o período chuvoso de 2010 variou de silte muito fino a silte grosso, com predomínio de silte fino. Ainda nesse mesmo período, as porcentagens de cascalho, areia, silte e argila registraram variação de 0,05 a 6,67%; 5,73 a 40,04%; 22,23 a 77,39% e 13,23 a 64,52%, respectivamente. No período seco do mesmo ano, a granulação média variou de silte muito fino a silte médio, com predomínio de silte muito fino. As porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,00 a 0,36%; 2,84 a 34,59%; 34,25 a 64,47% e 21,49 a 52,42%, respectivamente (Figura 4).

Figura 3- Matéria Orgânica Total do estuário do rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017.

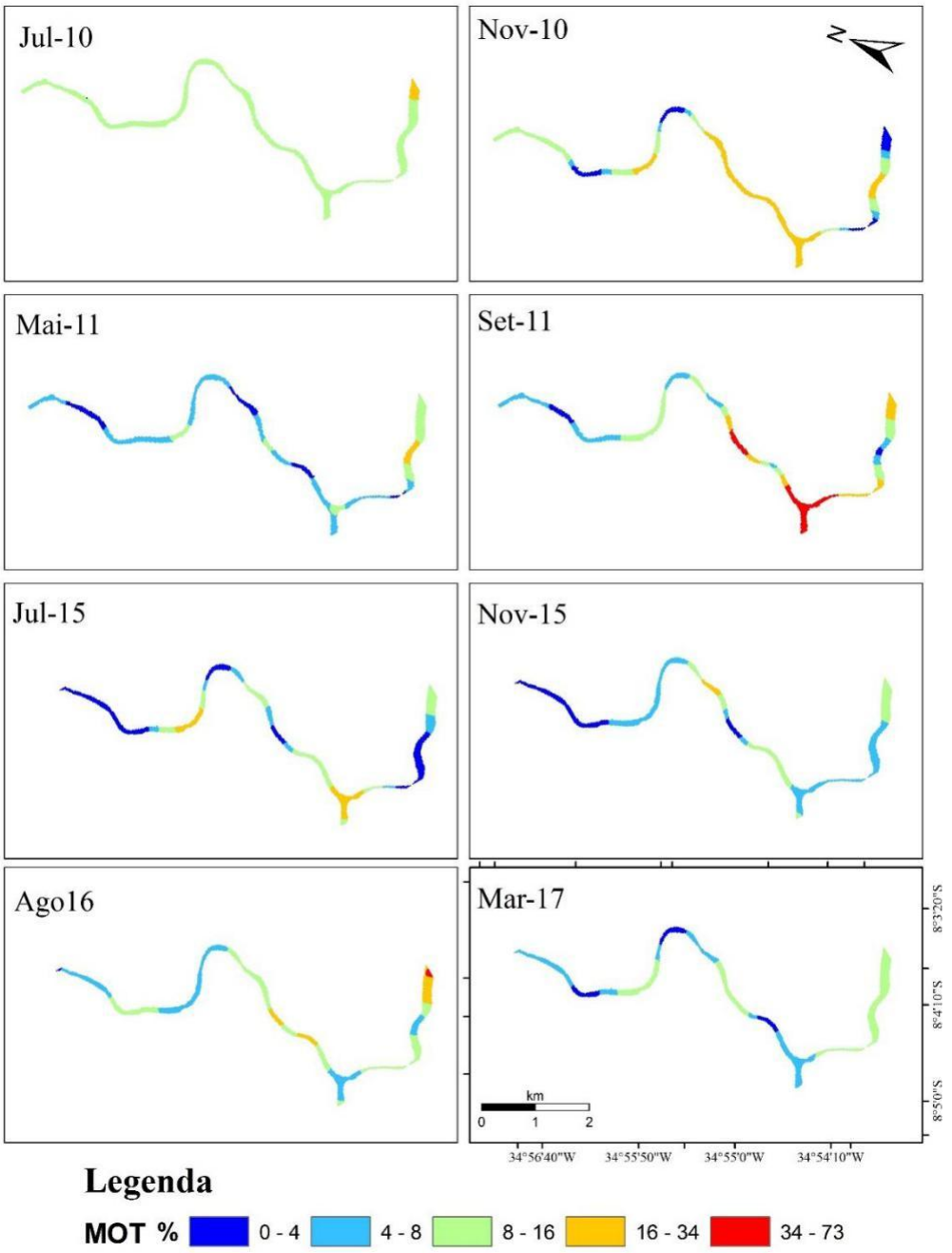
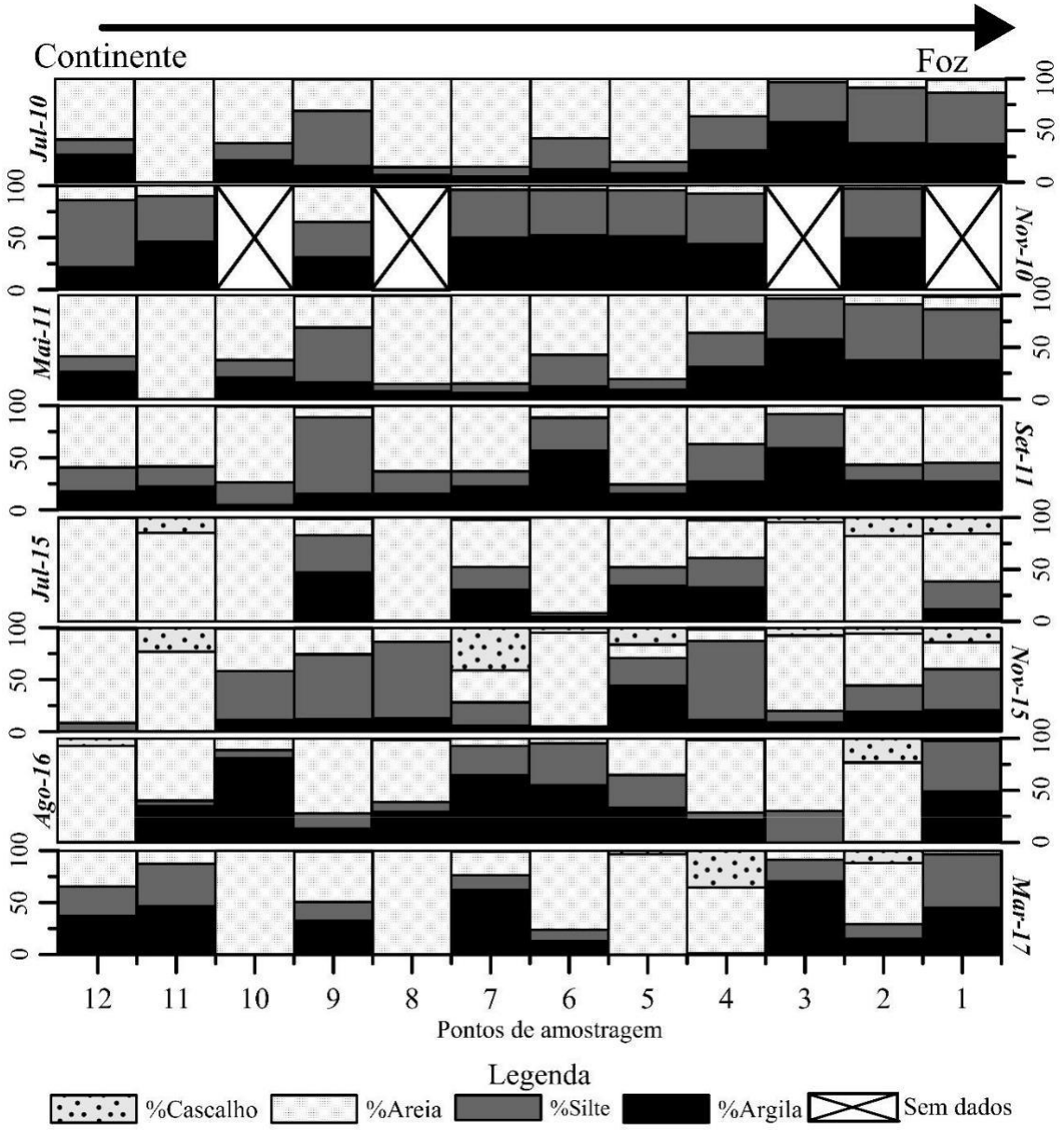


Figura 4-Dados Granulométricos do Estuário do Rio Capibaribe-PE, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017.



Para o período chuvoso de 2011, as amostras ao longo do rio Capibaribe apresentaram características heterogêneas bem evidenciadas com as características de deposição de sedimentos finos na região do baixo estuário (pontos 1 a 4) e características de deposição mais arenosa nas áreas do médio e uma pequena região do baixo estuário (pontos de 5 a 12, exceto o 9). Nesse mesmo período, o parâmetro diâmetro médio variou de silte muito fino a areia muito fina, com predomínio de silte grosso. As porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,00 a 1,11%; 3,00 a 100,00%; 0,00 a 53,97% e 0,00 a 57,74%, respectivamente. Para o período seco de 2011, foi observado um aumento na concentração de sedimentos finos em alguns pontos da área do médio estuário, contudo ainda ocorrendo o predomínio de sedimentos arenosos, bem como o aumento nas

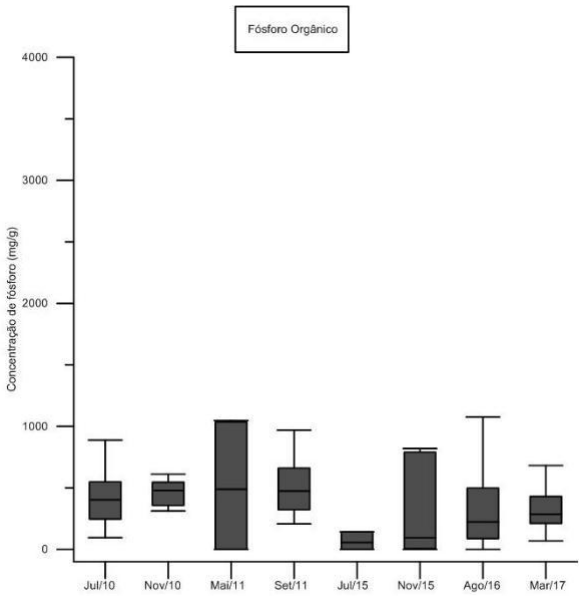
porcentagens de areia para a região do baixo estuário. Nesse período, o diâmetro médio variou de silte muito fino a areia muito fina, com predomínio de silte grosso. As porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,07 a 2,01%; 7,57 a 74,84%; 9,42 a 73,68% e 4,79 a 59,33%, respectivamente (Figura 4).

Em 2015, para o período chuvoso, o diâmetro médio do grão variou de silte fino a areia muito grossa, com predomínio de areia média. As porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,00 a 17,92%; 15,56 a 99,93%; 0,03 a 36,00% e 0,00 a 47,17%, respectivamente. No período seco do ano citado, o diâmetro médio variou de silte fino a areia muito grossa, com predomínio de silte grosso. As porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,15 a 41,13%; 10,87 a 90,41%; 0,00 a 75,92% e 0,00 a 43,92%, respectivamente (Figura 4).

Para os períodos chuvoso e seco de 2016/2017, o diâmetro médio variou de silte muito fino a areia grossa, com predomínio de silte muito fino. Para o período chuvoso de 2016/2017, as porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,00 a 23,19%; 2,20 a 92,01%; 0,36 a 48,90% e 0,00 a 80,92%, respectivamente. Para o período seco de 2016/2017 as porcentagens de cascalho, areia, silte e argila variaram de 0,00 a 35,44%; 3,17 a 99,86%; 0,03 a 51,50% e 0,00 a 70,42%, respectivamente (Figura 4).

As concentrações de fósforo orgânico (PO) variaram de 0,00 a 3597,00 mg.kg em todo o período estudado. No ano de 2010, o período de maior precipitação registrou concentrações médias de 412,20±220,91 mg.kg e o período de menor índice pluviométrico registrou médias de 484,63±157,09 mg.kg. Em 2011, as médias foram de 387,67±533,17 mg.kg para o período chuvoso e 462,21±451,34 mg.kg, para o período seco. Para 2015, as concentrações médias foram de 114,70±165,74 mg.kg no período com maior taxa pluviométrica e 480,00±1023,80 mg.kg para o período com menor taxa de precipitação. Por fim, para o período chuvoso e o período seco de 2016/2017 as médias registraram 331,90±328,77 mg.kg e 300,90±177,22 mg.kg, respectivamente (Figura 5 e 8)

Figura 5- Média e Desvio Padrão das Concentrações de Fósforo Orgânico dos meses analisados (mg.kg) nos sedimentos superficiais do Estuário do Rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017.



Para o fósforo inorgânico (PI), as concentrações variaram de 0,00 (limite de detecção) a 2923,50 mg.kg em todo o período estudado. Os meses de 2010 com maior índice pluviométrico apresentaram concentrações médias de 1240,87±346,20 mg.kg e os meses com menor índice registraram 1151,30±275,01 mg.kg. Para os períodos chuvoso e seco de 2011 as médias foram de 521,65±313,89 mg.kg e 494,32±227,48 mg.kg, respectivamente. Em 2015 o período chuvoso mensurou concentrações médias de 519,10±653,39 mg.kg e o período seco médias de 585,90±780,71 mg.kg. Por fim, o período com elevada taxa de precipitação de 2016/2017 registrou concentrações médias de 633,30±614,87 mg.kg e o período com baixas taxas de precipitação registraram 537,46±488,95 mg.kg de fósforo inorgânico (Figura 6 e 8).

Com relação aos valores de fósforo total (PT), as concentrações variaram de 17,30 a 3971,00 mg.kg em todo o período estudado. Os meses chuvosos de 2010 apresentaram concentrações médias de 1653,08±367,84 mg.kg e os meses menos chuvosos registraram médias de 1635,93±389,73 mg.kg. Para os períodos chuvoso e seco de 2011, as concentrações registraram médias de 909,32±607,10 mg.kg e 956,53±607,69 mg.kg, respectivamente. O período chuvoso de 2015, as concentrações médias do período chuvoso de 2015 foram de 633,79±653,52 mg.kg e para o período seco desse mesmo ano as concentrações medias foram de 1066,81±1205,01 mg.kg. Por fim, os períodos chuvoso e seco de 2016/2017 mensuraram médias de 999,05±828,01 mg.kg e 838,37±563,94 mg.kg, respectivamente (Figura 7 e 8).

Figura 6- Média e Desvio Padrão das Concentrações de Fósforo Inorgânico (mg.kg) nos sedimentos superficiais do Estuário do Rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017.

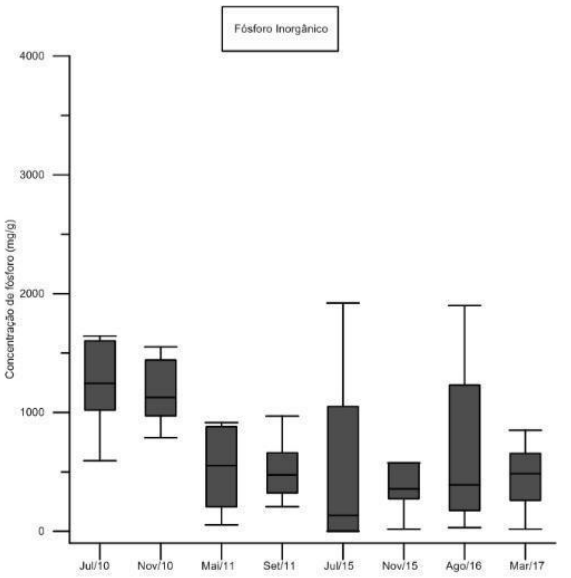


Figura 7- Média e Desvio Padrão das Concentrações de Fósforo Total (mg.kg) nos sedimentos superficiais do Estuário do Rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017.

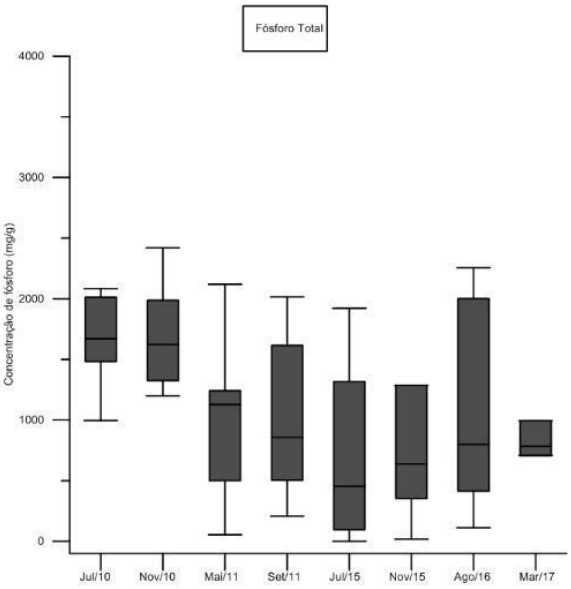
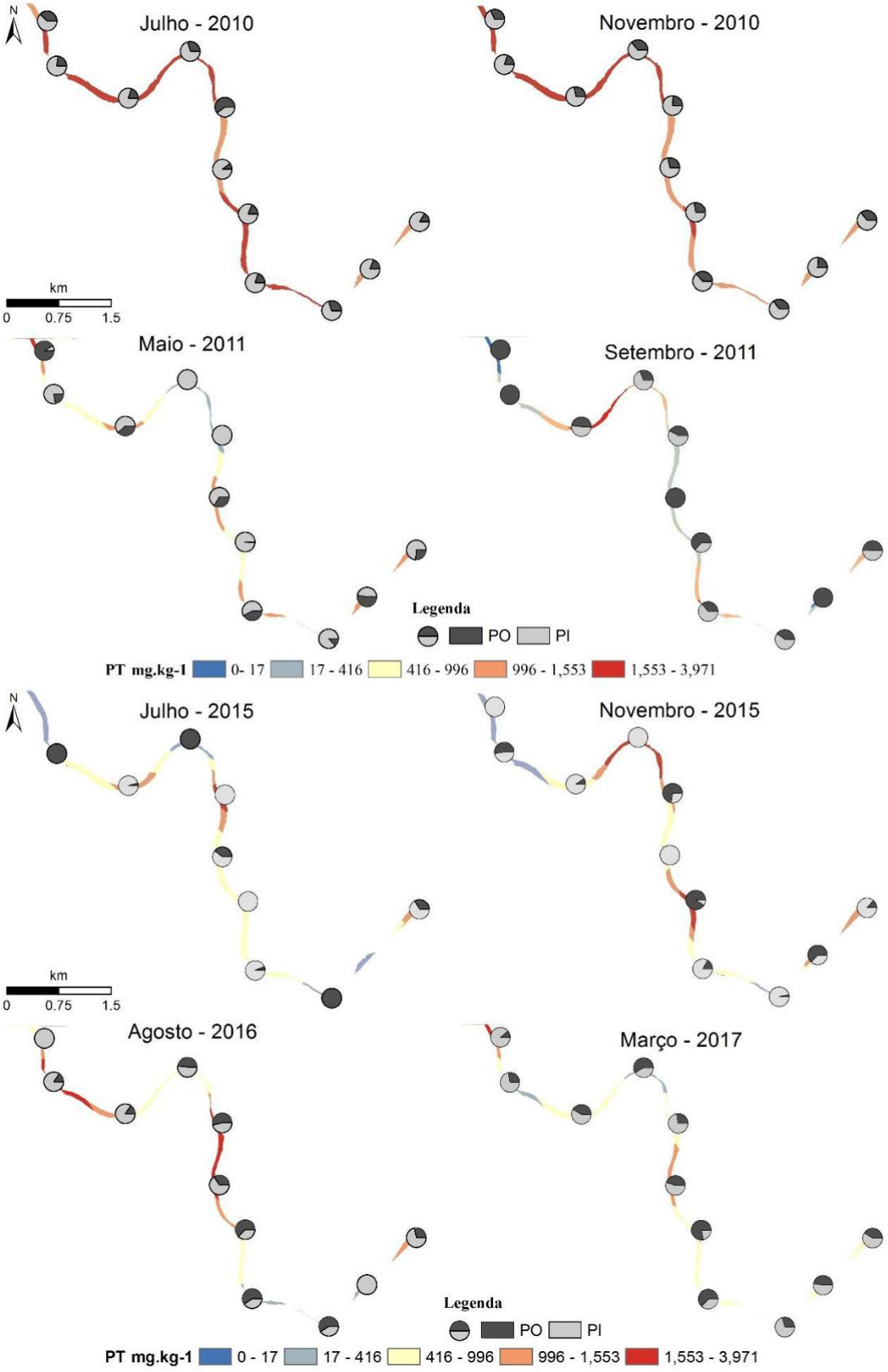
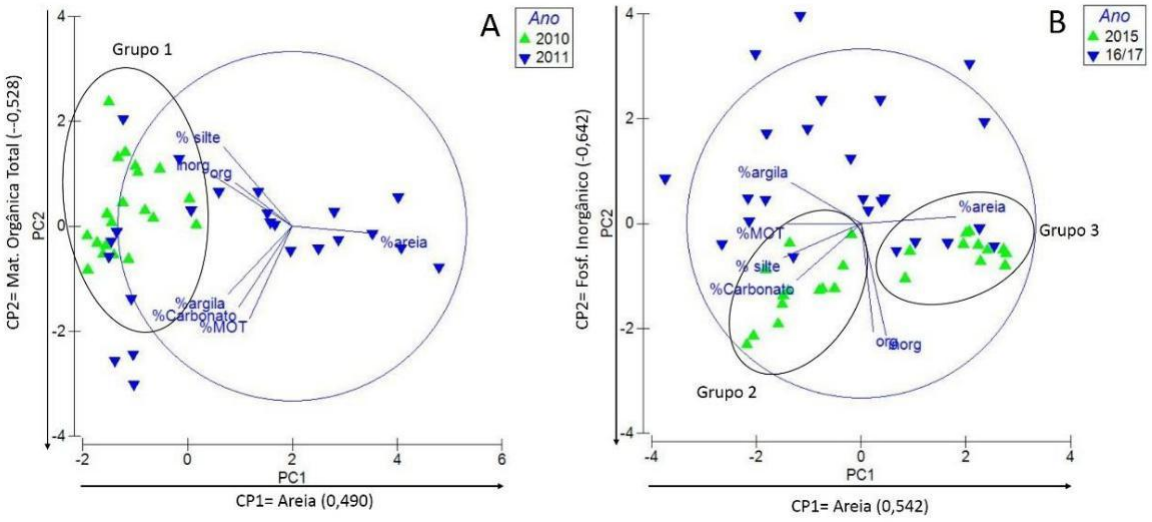


Figura 8- Fracionamento das Concentrações de Fósforo Sedimentar, em mg.kg (Fósforo Orgânico, Inorgânico e Total), de 2010 a2011 e 2015 a 2017.



As análises estatísticas não demonstraram padrões significativos entre os períodos e entre os anos estudados. Contudo, com base nas análises de componentes principais, foi possível distinguir três agrupamentos, no que se refere os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos (Figura 9). Na análise de 2010 e 2011 (figura 9-A) a primeira componente (PC1) reflete os teores de sedimentos mais arenosos (0,490) e a segunda componente (PC2) os teores de matéria orgânica total (-0,528), esse conjunto dos principais auto-vetores detém mais de 67% da variação total desses dados. Enquanto que na análise de 2015, 2016/2017 (Figura 9-B), o primeiro e o segundo componente explicam mais de 72% da variação, representados por teores de sedimentos arenosos (0,542) e fósforo inorgânico (-0,642), respectivamente.

Figura 9- Análise dos componentes principais (ACP) dos sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017. (A- anos de 2010 e 2011; B- anos de 2015 a 2017)

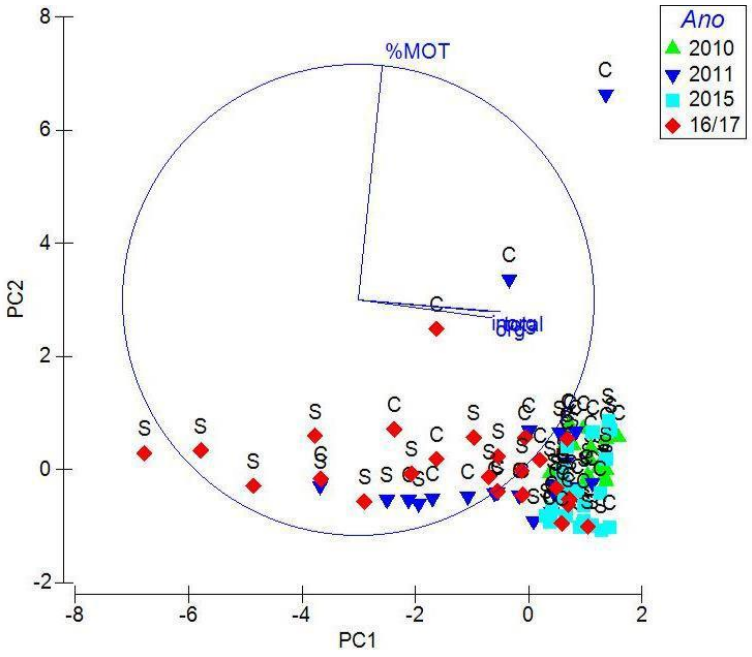


O grupo 1 (Figura 9-A) reúne as amostras que apresentaram as maiores porcentagens de areia e os menores conteúdos de matéria orgânica (< 20%) (amostras do período chuvoso e seco de 2010 mais as estações 1, 2, 3, 4, 6 e 9 do período chuvoso de 2011). O grupo 2 (Figura 9-B) reúne as amostras que apresentaram predominância de sedimentos finos (Estação 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 do período seco de 2015; e a estação 5 do período chuvoso de 2016/2017) e elevadas concentrações de fósforo inorgânico sedimentar (Estação 5 e 8 do período seco de 2015). O grupo 3 (Figura 9-B) reúne as amostras mais arenosas com baixas concentrações de fósforo sedimentar (orgânico, inorgânico e total) e conteúdo de matéria orgânica, principalmente as amostras referentes ao ano de 2015 (Estação 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11 e 12).

A análise de componentes principais apenas dos parâmetros geoquímicos (Fósforo inorgânico, Fósforo orgânico, Fósforo total e Matéria orgânica total), representados na Figura 10, somados aos resultados da correlação (Tabela 1) revelam que as concentrações de fósforo não apresentaram correlação com a matéria orgânica que adentra no sistema.

A primeira componente (PC1) reflete as concentrações de fósforo total (0,603), a segunda componente pondera (PC2) os teores de matéria orgânica total (0,995), as quais representam 90% da variação total dos dados geoquímicos. A figura 10 demonstra que os parâmetros geoquímicos não apresentaram padrão sazonal e interanual. No total, 100% dos dados referentes aos períodos chuvoso e seco dos anos de 2010 e 2015, juntamente com algumas estações de 2011 e 2016/2017 apresentaram maiores concentrações de fósforo total e menores teores de matéria orgânica; duas estações do baixo e médio estuário (4 e 6) do ano de 2011 apresentaram elevados teores de matéria orgânica e baixas concentrações de fósforo total; e o restante das amostras dispersas são referentes ao período chuvoso e seco de 2016/2017 com baixos teores de matéria orgânica total e menores concentrações de fósforo total.

Figura 10- Análise de componentes principais (ACP) dos parâmetros geoquímicos (Fósforo inorgânico-FI; Fósforo orgânico-FO, Fósforo total-FT e Matéria orgânica total-MOT) do Estuário do Rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017. (C: período chuvoso e S: período seco)



O fósforo total apresentou uma forte correlação com o fósforo inorgânico (r^2=0,8; p<0,001) e orgânico (r^2=0,7; p<0,001). A correlação muito fraca entre a matéria orgânica e as concentrações de

fósforo (r^2=0,1; p<0,001), mostram que as frações de fósforo não estão associadas com a quantidade de matéria orgânica que adentra no estuário do Rio Capibaribe (Tabela 1).

Tabela 1- Resultado da Análise de Correlação Linear dos parâmetros geoquímicos do Estuário do Rio Capibaribe-PE, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017. (Fósforo inorgânico-PI; Fósforo orgânico-PO, Fósforo total-PT e Matéria orgânica total-MOT).

	PI (mg.kg)	*PO (mg.kg)*	*PT (mg.kg)*	*MOT (%)*
PI (mg.kg)	1			
PO (mg.kg)	0,1	1		
PT (mg.kg)	**0,8**	**0,7**	1	
MOT (%)	0,1	0,1	0,1	1

4. DISCUSSÃO

Durante o período chuvoso de 2010 e 2011, os elevados índices pluviométricos incrementam nos volumes das águas fluviais, aumentando a vazão do rio, e com isso, intensificando o transporte de sedimentos, lixiviando e carreando parte dos sedimentos finos presente nos rios e suas áreas marginais para as áreas próxima da foz do estuário (Pardal *et al*., 2016). Devido a essa intensa energia hidrodinâmica, setores do médio estuário do rio Capibaribe registraram o aumento da deposição de sedimentos arenosos (Marcondes, 2009). Oliveira *et al.*, 2014 observaram um padrão diferente, em 2012 e 2013, indicando que o estuário do rio Capibaribe, em sua maior parte, apresenta áreas que se caracterizam como de deposição de sedimentos finos. Pardal *et al*., (2016), verificaram que essas mudanças na deposição de sedimentos ocorreram após algumas dragagens efetivadas no estuário, o que mudou a composição dos grãos em 2012 e 2013, decorrente da remobilização dos sedimentos superficiais. Após os processos de dragagens, o padrão sedimentar apresentou, novamente, predomínio de sedimento arenoso no médio estuário e sedimentos finos no baixo estuário, revelando o padrão sedimentar do sistema quando não é submetido a nenhum tipo de modificação antrópica.

Durante o período seco, a vazão do rio é menor, e consequentemente a hidrodinâmica marinha no baixo estuário é maior, e essa maior influência no baixo estuário dificulta o escoamento da descarga fluvial do sistema em direção ao oceano. A baixa intensidade hidrodinâmica facilita o aumento da deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica na porção mais interna do estuário, caracterizando uma sedimentação mais pelítica durante os períodos secos. Barcellos *et al.* (2016b) observaram o mesmo padrão para o sistema estuarino do rio Jaboatão. Possivelmente, esse comportamento de maior deposição de sedimentos finos durante o período seco e arenosos no período chuvoso ocorre, principalmente, devido a morfologia do estuário do rio Capibaribe, que se apresenta

sob a forma de uma laguna costeira, limitando os processos de mistura no sistema estuarino, como observados em sistemas estuarinos de configuração semelhante (Kjerfive e Magill, 1989; Calliari *et al.*, 2008. Silva *et al.*, 2011; Malinaroli *et al.*, 2014; Lisboa e Fernandes, 2015).

Durante os anos de 2010 e 2011, as maiores porcentagens de finos e de matéria orgânica foram registradas, principalmente, nas áreas próximas a foz do sistema estuarino. O incremento nas concentrações desses parâmetros é reflexo no aumento da intensidade hidrodinâmica no canal estuarino, promovendo a intensificação do transporte sedimentar das áreas do alto e médio estuário do rio Capibaribe, carreando parte do material fino dessas regiões para as áreas da foz do sistema. Entretanto, as maiores porcentagens registradas nesse ano nas áreas do médio estuário são consequências desse incremento na intensidade hidrodinâmica, carreando matéria orgânica desde o alto estuário, sendo capaz de transportar até mesmo areias, possivelmente de origem fluvial do rio Capibaribe, o que também foi observado por Oliveira (2014).

Esse mesmo padrão foi observado para o ano de 2015, corroborando com o trabalho de Oliveira (2014). Porém, foi observado um aumento nos teores de cascalho, principalmente para o período seco. Esse acréscimo nas porcentagens de cascalho ocorre principalmente no período seco, e se deve ao fato dessas amostras apresentarem uma alta densidade de organismos bentônicos nesses pontos (Figura 11), facilitando sua fixação devido ao período de baixa intensidade hidrodinâmica, modificando os valores de diâmetro médio. O mesmo padrão foi observado para os períodos chuvoso e seco de 2016/2017.

Figura 11- Amostras de sedimentos superficiais do estuário do rio Capibaribe-PE com material bioclástico.

Assim como na variação da distribuição superficial de sedimentos, a climatologia da região também influenciou no padrão da matéria orgânica no sistema estuarino do Rio Capibaribe. Durante os períodos de elevados índices pluviométricos foram registrados o incremento dos teores de matéria orgânica no sistema estuarino, principalmente nas proximidades da foz (34,4% no período chuvoso

de 2016/2017). Marcondes (2009) e Oliveira (2014) registraram relações semelhantes aos demonstrados neste trabalho. Já para os períodos secos, a distribuição dos teores de matéria orgânica sedimentar apresentou-se de forma heterogênea ao longo do estuário, geralmente com menores porcentagens de MOT ao longo do sistema, porém registrou-se dois picos (72,8 e 43,8 %) no período seco de 2011. Oliveira e Matos (2007) associam os elevados conteúdos de matéria orgânica à possíveis fontes externas e/ou influências antrópicas.

Os sistemas estuarinos são áreas de maior deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica, o que os tornam ambientes favoráveis para o acúmulo de componentes poluidores. Essas regiões apresentam grande capacidade de adsorção de poluentes o que as torna indispensáveis para avaliar o nível de contaminação e elaborar planos de mitigação, a fim de comedir os impactos nesses ambientes (Fostner e Wittmann, 1981; Santos *et al.*, 1997; Jesus *et al.*, 2004; Marques *et al.*, 2011).

Segundo Bostron *et al.*, (1988), existem vários mecanismos nos quais ocorrem a transferência do fósforo da coluna d'água para o sedimento: (a) a sedimentação do fósforo detrítico proveniente da coluna d'agua; (b) adsorção ou precipitação de fósforo com compostos inorgânicos; (c) sedimentação do fósforo com matéria orgânica alóctone; e (d) como ácidos húmicos provenientes dos mangues, como o caso da área de estudo. Contudo, elevadas concentrações de matéria orgânica podem inibir a adsorção do fósforo no sedimento, como o caso do estuário em estudo, onde foi representada na figura 4.10, pela análise de componentes principais, e na tabela 1 a qual mostrou a fraca correlação entre matéria orgânica e as frações de fósforo. A adsorção de fósforo em sedimentos ocorre de forma lenta, no entanto, quando esse sedimento está em estado anóxico, esse processo fica ainda mais lento. Isso se deve ao fato de que a matéria orgânica dissolvida se acumula em águas intersticiais de sedimentos marinhos anóxicos, podendo inibir a adsorção do fósforo sedimentar (Krom e Berner, 1980).

O fósforo orgânico é proveniente da excreção e morte de animais, senescência de folhas, lançamentos de esgoto, dentre outros (Strickland e Parsons, 1968; Reddy *et al.*, 1999; Kolowith *et al.*, 2001). Essa fração apresentou valores abaixo de 1000 $mg.kg^{-1}$, em 90% das amostras, relativamente baixas quando comparadas às concentrações de fósforo inorgânico (< 1000 $mg.kg^{-1}$), porém com alguns picos (2% das concentrações) em determinadas regiões do estuário, sem um padrão definido, um pico no período chuvoso de 2011 (1927,1 $mg.kg^{-1}$) e outro no período seco e 2015 (3597,0 $mg.kg^{-1}$) (Figura 8).

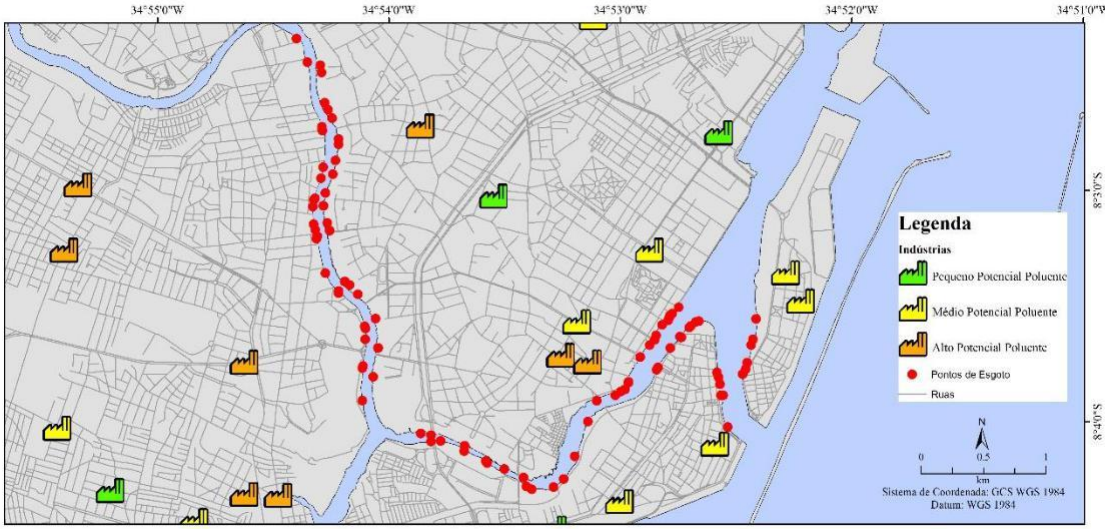
Marins *et al.*, (2007) observaram que as altas concentrações de fósforo inorgânico registrado no estuário do rio Jaguaribe podem estar associadas com o estado trófico do estuário e a produtividade

estuarina, principalmente em áreas onde ocorram atividades que despejem efluentes enriquecidos em nutrientes como áreas de aquicultura e/ou urbanização sem esgotamento sanitário adequado. Com isso, acredita-se que as altas concentrações de fósforo inorgânico estejam associadas, principalmente, com alta descarga de efluentes domésticos oriundos da intensa urbanização da cidade do Recife no entorno do sistema estuarino do rio Capibaribe (Figura 12 e 13).

Figura 12- Alguns pontos de entrada de efluentes no estuário do rio Capibaribe-PE.

Pardal *et al*., (2016) indicam que, durante o período seco o estuário apresenta predominância de matéria orgânica de origem marinha, e para o período chuvoso esse material presente no sistema é de origem terrígena, de fontes naturais e antrópicas. Essas elevadas concentrações de fósforo no período seco de 2015 são indicativos de contaminantes oriundos de efluentes domésticos, evidenciando que o referido sistema estuarino apresenta fortes evidências de poluição antrópica referentes a entrada de esgoto no sistema, indicativos das elevadas concentrações de fósforo inorgânico registradas (Figura 13 e 14).

Figura 13- Mapa de Indústrias localizadas ao longo do Rio Capibaribe, no trecho que compreende São Lourenço da Mata à Recife. As diferentes cores refletem os agrupamentos das indústrias segundo seu potencial de poluição (PP): Verde = pequeno PP; Preto = Médio PP; Vermelho = Alto PP. Os pontos em vermelho correspondem às saídas de esgotos ao longo da área (Adaptado de Nobrega, 2011).



(Fonte: Adaptado de Nobrega, 2011)

As concentrações de fósforo apresentaram distribuição diretamente relacionada à granulometria dos sedimentos. As maiores concentrações de fósforo estão associadas aos sedimentos compostos por maiores teores de pelíticos (FI e silte, r^2= 0,62; FI e argila -r^2=0,53 p<0,001). As baixas concentrações de fósforo inorgânico estão associadas à sedimentos essencialmente arenosos (r^2=-0,68 p<0,001). Essa correlação negativa reforça sua associação com os finos. Na composição do fósforo total, a contribuição do fósforo inorgânico foi maior que a porção orgânica, sendo assim, as concentrações médias de fósforo sedimentar inorgânico foram maiores que as concentrações de fósforo orgânico (representados pelo r^2= 0,78 entre fosforo total e inorgânico). Essa associação de fósforo inorgânico com sedimentos finos também foi observada por Santos (2016), Gaspar *et al.*, (2013), Cazati *et al.*, (2007), Cazati, (2010) e Barcellos, *et al.*, (2005).

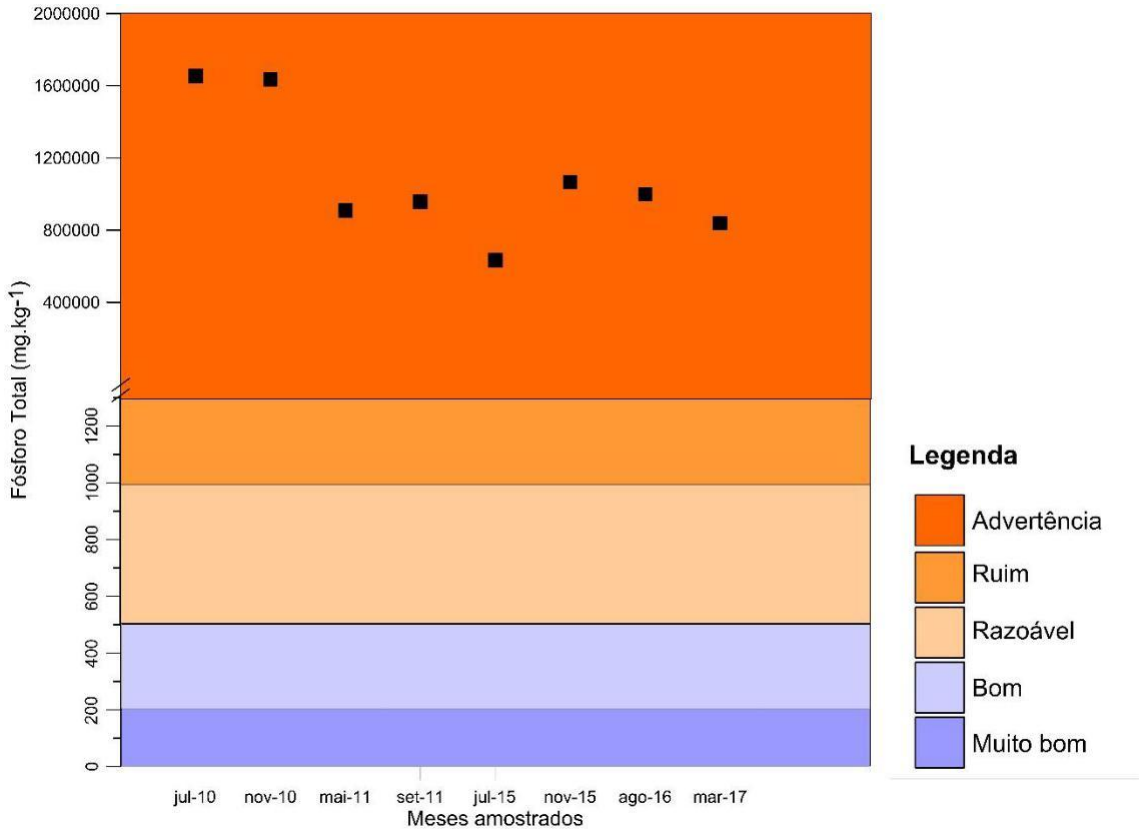
As altas concentrações de fósforo para o estuário do rio Capibaribe registraram concentrações maiores que as encontradas por Barcellos et al. (2005), no litoral de São Paulo e, por Santos et al., (2010) e Xavier et al., (2017) para a região costeira amazônica (Tabela 2). Esses valores refletem que o estuário do rio Capibaribe se encontra com altos índices hipertróficos, influenciados possivelmente pelos incrementos no volume anual de efluentes domésticos que corresponde a 95,7% (Noriega, 2010). O rio Capibaribe transporta grande parte dos efluentes produzidos pela população (percorre 43 municípios até a foz), o qual correspondem a aproximadamente 1521 toneladas/dia, considerando as populações urbanas e rurais (PROJECTEC, 2010).

Tabela 2- Tabela com concentrações de fósforo sedimentar (mg.kg^{-1}) em outros ambientes estuarinos do globo.

Área de estudo	*Concentrações de fósforo sedimentar (mg.kg^{-1})*				*Trabalhos*
		PI	PO	PT	
Estuário do rio Capibaribe	Mx	2923,50	3597,00	3971,00	Este estudo
	Mn	0,00	0,00	17,00	
Estuário de Hooghly -India	Mx	0,476	0,118	0,503	Vaithiyanathan *et al.,* (1993)
	Mn	0,258	0,005	0,258	
Estuário Yangtze-Shangai	Mx	x	x	0,973	Shiyuan Xu *et al.,* 2001
	Mn	x	x	0,558	
Estuário do Rio Bacanga - MA	Mx	0,210	0,269	0,504	Protazio *et al.,* 2004
	Mn	0,179	0,291	0,399	
Sistema Estuarino/Lagunar de Cananéia/Iguape -SP	Mx	0,628	0,469	0,934	Barcellos *et al.,* 2005
	Mn	0,025	0,015	0,043	
Estuário do rio Jaguaribe -CE	Mx	0,125	0,058	0,157	Marins *et al.,* (2007)
	Mn	0,043	0,010	0,077	
Sistema Estuarino Santos-São Vicente -SP	Mx	2,011	0,326	2,297	Berbel 2008
	Mn	0,106	0,011	0,118	
Estuário do Rio Paciência -MA	Mx	0,203	0,423	0,574	Mendes Filho 2009
	Mn	0,039	0,009	0,085	
Plataforma Rio Amazonas -PA	Mx	0,301	0,211	0,336	Santos *et al.,* 2010
	Mn	0,006	0,006	0,037	
Complexo Estuarino de Paranaguá -PR	Mx	0,631	0,737	1,049	Cazati 2010
	Mn	0,016	0,002	0,020	
Estuário do Rio Botafogo -PE	Mx	0,929	0,209	1,124	Gaspar *et al.,* 2013
	Mn	0,142	0,005	0,147	
Canal de Santa Cruz -PE	Mx	0,931	0,188	1,118	
	Mn	0,574	0,019	0,593	
Estuário do Rio Carrapicho -PE	Mx	0,796	0,170	0,965	
	Mn	0,51	0,001	0,052	
Estuário do Rio Bacanga - MA	Mx	1,248	0,566	1,466	Nunes 2013
	Mn	0,125	0,173	0,526	
Baia de Todos os Santos -BA	Mx	x	0,493	x	Barcelos *et al.,* 2014
	Mn	x	0,003	x	
Estuário do Rio Formoso -PE	Mx	0,186	0,315	0,217	Santos 2016
	Mn	0,000	0,000	0,003	
Rio Sucuriju -AP	Mx	x	x	400,99	Xavier et al., 2017
	Mn	x	x	5,81	

As concentrações de fósforo nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe-PE foram maiores que as encontradas em outros ambientes estuarinos ao redor do mundo (Tabela 2). Esses elevados valores de fósforo inorgânico, juntamente com altas concentrações de fósforo total, indicam altos índices de contaminação, registrando valores mínimos oito vezes maior que o valor permitido pela resolução 454 do CONAMA de 2012 (PT>2000 $mg.kg^{-1}$) e, segundo, Robertson e Stevens (2013), representam valores de advertência (>1300 $mg.kg^{-1}$) em todo o sistema estuarino, em todos os anos estudados (Figura 14).

Figura 14- Interpolação das concentrações médias de Fósforo Total ($mg.kg^{-1}$) do estuário do Rio Capibaribe, de 2010 a 2011 e 2015 a 2017, de acordo com a metodologia proposta por Robertson e Stevens (2013).



5. CONCLUSÃO

As características sedimentares e geoquímicas do estuário do rio Capibaribe-PE, não apresentaram padrão sazonal e interanual evidente. No geral, os anos de 2010 e 2011 apresentaram maiores intensidades pluviométricas, maiores porcentagens de finos e de matéria orgânica, principalmente nas áreas próximas a foz do sistema estuarino. A maior deposição de sedimentos finos ocorreu em 2010, 2011 e 2015.

Durante os períodos chuvosos o transporte de sedimentos foi intensificado, nas áreas próxima da foz do estuário com predominância de sedimento arenoso no médio estuário. Contudo, foi verificado que as modificações antrópicas alteram esse padrão. Durante os períodos secos ocorrem o aumento da deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica na porção mais interna do estuário, caracterizando este período com uma sedimentação mais pelítica. No período seco de 2015 e nos períodos chuvoso e seco de 2016/17 foram observados um aumento nas porcentagens de cascalho decorrentes de uma alta densidade de organismos bentônicos.

A matéria orgânica não apresentou padrão sazonal e interanual, as concentrações registradas para o sistema estuarino estão associadas a fontes externas relacionadas a influências antrópicas tornando o estuário do rio Capibaribe um ambiente favorável ao acúmulo de poluentes, indispensável na avaliação de impactos ambientais que a região está submetida. Assim como matéria orgânica total, as concentrações de fósforo também não apresentaram padrão sazonal e interanual e suas elevadas concentração podem estar associadas à transporte de poluentes orgânicos de origem antrópica para o sistema estuarino.

As concentrações de fósforo não apresentaram correlação com a matéria orgânica que adentra no sistema, indicando que essa elevada concentração de MOT inibiu a adsorção do fósforo nos sedimentos. As concentrações de fósforo apresentaram distribuição associada diretamente com a granulometria. As maiores concentrações de fósforo (orgânico, inorgânico e total) estavam associadas aos sedimentos compostos por maiores teores de finos. As baixas concentrações de fósforo inorgânico apresentaram maior associação à sedimentos essencialmente arenosos.

A correlação entre o fósforo inorgânico e o fósforo total foi mais forte que o orgânico, evidenciando que a maior contribuição da fração inorgânica no fósforo total indica a forte influência da alta descarga de efluentes domésticos, sem saneamento básico adequado, oriundos da intensa urbanização da cidade do Recife.

A análise estatística permitiu a visualização de 3 grupos: o grupo 1 que engloba as amostras com as maiores porcentagens de areia e os menores conteúdos de matéria orgânica; o grupo 2 que reúne as amostras com predominância de sedimentos finos e elevadas concentrações de fósforo inorgânico sedimentar; e o grupo 3 com amostras mais arenosas e baixas concentrações de fósforo sedimentar.

As concentrações de fósforo nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe-PE foram maiores que em regiões com características de sedimentação de fósforo, indicando altos índices de contaminação, expondo valores de advertência em todo o sistema, e uma concentração oito vezes maior que o valor permitido pela resolução 454 do CONAMA de 2012-PT>2000 $mg.kg^{-1}$).

7 CONCLUSÃO

Sazonalmente e espacialmente, a dinâmica sedimentar e geoquímica do estuário do Rio Capibaribe-PE exibiu dois comportamentos durante os períodos chuvosos: (i) incremento de sedimentos arenosos de origem fluvial terrígena, geralmente depositados na calha principal do rio; e (ii) deposição de sedimentos finos na região do baixo estuário. Para os períodos secos, a deposição de finos e de matéria orgânica aumentaram no médio estuário, maiores porcentagens de sedimentos arenosos de origem marinha e incremento nos valores de carbonato para o baixo estuário. O incremento nos conteúdos de matéria orgânica no médio estuário interferiu na produção de carbonato marinho, diminuindo suas concentrações e sua distribuição ao longo do sistema estuarino.

Antes dos processos de dragagem no sistema estuarino, o estuário do Rio Capibaribe apresentou, para o período chuvoso, características sedimentares com granulação mais arenosa, baixos teores de matéria orgânica e baixos teores de carbonato. Para o período seco, o estuário registrou maiores porcentagens de lamas, altos conteúdos de matéria orgânica e elevados teores de carbonatos. Diferentemente, dos resultados observados pós-dragagem, que remobilizaram os sedimentos superficiais, modificando o padrão sedimentar do sistema, refletindo nos aumentos das porcentagens de lama e no conteúdo da matéria orgânica, bem como na diminuição das porcentagens de carbonato registradas para toda a extensão do estuário, principalmente para os anos de 2012 e 2013. Já o comportamento sedimentar para os anos de 2015 a 2017 apresentou predomínio de sedimentos arenosos praticamente em todo o sistema estuarino, recorrentes de regiões que estão atuando como armadilhas de sedimentos, possivelmente, ligados às obras de dragagens ocorridas em determinadas áreas do estuário. Ainda neste ano e no período seco de 2015 foi observado um aumento nas porcentagens de cascalho, decorrentes de uma alta densidade de organismos bentônicos.

O maior aporte de carbono orgânico (%) e de nitrogênio total (%) ocorreu no período seco, associados à sedimentação de granulação mais fina. Os resultados da razão isotópica (C/N) permitiram caracterizar o estuário como um ambiente de fontes mistas de matéria orgânica, nos períodos secos, origem mista e marinha, e nos períodos chuvosos registrou matéria orgânica de origem continental.

A origem da matéria orgânica, segundo a razão $\delta^{13}C$, mostrou tendência continental com ocorrências de origem marinha, em 2010. Em 2011, revelou tendência marinha com ocorrências de origem continental. A razão $\delta^{15}N$, indicou origem marinha para os períodos chuvosos e nos meses mais secos, registraram origem terrígena, natural e antrópica, com forte indício de poluição com

matéria orgânica sedimentar oriunda de efluentes domésticos, tendo, o estuário, predomínio de condições hipertróficas ao longo dos anos.

As concentrações de fósforo (orgânico, inorgânico e total) não apresentaram padrão sazonal e interanual, estando suas elevadas concentrações diretamente relacionadas aos sedimentos compostos por maiores teores de pelitos. As concentrações de fósforo não apresentaram correlação com a matéria orgânica que adentra no sistema, onde os elevados teores de MOT inibiram a adsorção do fósforo nos sedimentos.

O fósforo total está mais associado ao fósforo inorgânico que o orgânico. Essa maior contribuição da fração inorgânica no fósforo total indica a forte influência da alta descarga de efluentes domésticos, sem saneamento básico adequado, oriundos da intensa urbanização da cidade do Recife. As baixas concentrações de fósforo inorgânico estão associadas à sedimentos essencialmente arenosos.

As elevadas concentrações de fósforo nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe-PE indicam altos índices de contaminação, expondo valores de advertência em todo o sistema, e uma concentração oito vezes maior que o valor permitido pela resolução 454 do CONAMA de 2012- PT>2000 $mg.kg^{-1}$.

Por fim, a crescente expansão urbana, as modificações na geomorfologia do estuário e o incremento de efluentes domésticos e industriais, somados aos índices pluviométricos e as operações de dragagens foram fatores determinantes na dinâmica sedimentar e no padrão geoquímico do sistema estuarino do rio Capibaribe-PE. As fontes mistas de matéria orgânica sedimentar estão associadas à influências antrópicas sendo o estuário do rio Capibaribe caracterizado como de baixa energia hidrodinâmica, potencial retentor de MO e finos, submetido à forte influência de fontes terrígenas, naturais e antrópicas, e muito favorável ao acúmulo de poluentes, tornando-o indispensável na avaliação de impactos ambientais que a região está submetida.

Neste sentido, este trabalho decorre para sobreavisar a importância de fiscalizações mais severas por parte de órgãos ambientais para o cumprimento da legislação vigente e fiscalização das atividades desenvolvidas no estuário, promovendo a mitigação da degradação ambiental que se configura atualmente na região.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, V.M.C.; BRAGA E.S. Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salility gradiente in a heavily pollued estuarine system of Santos-São Paulo, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 4, n. 54, p. 464-471. 2007.

ALHEIROS, M.M.; FERREIRA, M.G.V.X.; LIMA FILHO, M.F., Mapa Geológico do Recife. Recife, Convênio carta geotécnica da cidade do Recife. FINEP/LSI-DEC-UFPE, escala 1:25.000. 1995.

ALMEIDA, A.V.; SILVA, I.M.M.D.; CÂMARA, C.A. G.; MEUNIER, I.M.J.; SANTOS, S.M.D.; SOUZA, T.S.de.; CUNHA, V.V.da.; SANTANA, K.M.de. Praia da Madeira do Recife: centro de armazenamento e embarque das madeiras da Mata Atlântica do Norte no Séc. XVIII. **Revista De Humanidades**, v. 8, n. 20, p. 68-102. 2006.

AMORIM, M. A.; MOREIRA-TURCO, P.F.; TURCO, B.J.; CORDEIRO, R.C. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil**. Acta Amazônica**, v. 39, n. 1, p. 165–172. 2009.

ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 4, p. 243–274. 2007.

ANDRÉS, M.F. Modelización del flujo em acuífero confinado sin discretización temporal. **Boletín Geológico y Minero**, v. 119, n. 2, p. 273-282. 2008.

ANDREWS, J. E.; GREENAWAY, A. M.; DENNIS, P. F. Combined carbon isotope and C / N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbour, Jamaica. **Estuarine Coastal And Shelf Science**, v. 46, p. 743–756, 1998.

ANJOS, D.L.; PASSAVANTE, J.Z.O.; CUNHA, M. da G.G. da S.; SILVA, M. H. da. Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do Rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 40, n. 1, p.167–184. 2012.

ARAÚJO, A. M.; PIRES, T. T. Simulação exploratória dos efeitos das marés na circulação e transporte hidrodinâmicos da Bacia do Pina. **Revista Brasileira De Recursos Hídricos**, V. 3, n. 3, p. 57–71. 1998.

BADER, R.G., Carbon and nitrogen relations in surface and subsurface sediments. **Geochimical et Cosmochimical Acta**, v. 7, n. 5, p. 205-211. 1955.

BARCELLOS, R. L., **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e processo sedimentar atual no sistema estuarino Lagunar de Cananéia-Iguape, SP**. 2005. 187f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BARCELLOS, R. L.; ALVES, C. S.; FETTER FILHO, A., **Geoquímica e Dinâmica sedimentar do sistema estuarino do Rio Goiana**. 1. ed. Alemanha: Nea-Edições; 2016ª.

BARCELLOS, R. L.; BERBEL, G.B.; BRAGA, E DE S., FURTADO,V.V. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. **Geochemical Brasiliensis**, v. 19, n. 1, p. 22–36. 2005b.

BARCELLOS, R. L.; CAMARGO, P. B.; BRIZZOTTI, M. M.; FURTADO, V.V. Seasonal stable carbon isotope variations in sediments of Cananéia-Iguape Lagoonal Estuarine System, São Paulo State, SE Brazil. **Materials and Geoenvironment**, v. 1, p. 188-188. 2005a.

BARCELLOS, R. L.; SANTOS, L.D., Dinâmica sedimentar e o comportamento sazonal da matéria orgânica no estuário do rio Formoso – PE, Ed. **Novas Edições Acadêmicas**, v. 1, p. 103. 2017.

BARCELLOS, R.L.; BRAGA, E.S.; FURTADO, V. V.; BERBEL, G. B. B. Sedimentary and geochemical aspects of a refinery impacted coastal area: a case study of the Todos os Santos Bay (Bahia, Brazil). **International Journal of Geosciences**, v. 5, p. 1451-1467. 2014.

BARCELLOS, R.L.; CAMARGO, P.B.; GALVÃO, A.; WEBER, R.R. Sedimentary organic matter in cores of the Cananéia-Iguape Lagoonal-Estuarine System, São Paulo State, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 56, p. 1335–1339. 2009.

BARCELLOS, R.L.; FIGUEIRA, R.C.L.; FRANCA, E.J.; SCHETTINI, C.A.F.; XAVIER, D.A. Changes of estuarine sedimentation patterns by urban expansion: the case of middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil. **International Journal of Geosciences**, v. 8, p. 514-535. 2017.

BARCELLOS, R.L.; FLORES-MONTES, M.; ALVES, T.M.F.; CAMARGO, P.B. Modern sedimentary processes and seasonal variation of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, p. 38-42. 2016b.

BARCELLOS, R.L.; FURTADO, V.V. Organic matter contents and modern sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, South-Eastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 2, p. 1073–1077. 2006b.

BATISTA, R. A. L. **Variação sazonal da distribuição de salinidade, temperatura, turbidez, OD e clorofila no estuário do Rio Capibaribe**. 2017. 75f. Dissertação (Mestrado Em Oceanografia) - Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2017.

BERBEL, G. B. B.; BRAGA, E. S. Variação Sazonal (Inverno E Verão De 2005) das especiações de fósforo dissolvido e fósforo sedimentar em santos e suas inter-relações com parâmetros físicos e químicos. Edusp. Oceanografia E Mudanças Globais. 3., Simpósio Brasileiro de Oceanografia. **Anais [...]**. São Paulo: SOB, 2008.

BERBEL, G.B.B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e plataforma continental sudeste (Brasil) e Baía do Akmirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas**. 2008. 147f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BIANCHI, T.S. **Biogeochemistry of Estuaries**. 1. ed. New York: Oxford University Press; 2007. BIONE, M. A. A.; DANTAS, R.M.L.; TAVARES, C.G.A.; ALBUQUERQUE, C.G.; SOARES, T.M; SILVA, E.F.DE F. E. Poluição do Rio Capibaribe por esgoto doméstico. IEPEX. IX., **Anais [...]** Recife: 2009.

BORBOREMA, A. C. B. A.; ANDRADE, H. J. L. F.; SÁ, L. A. C. M., Da cartografia dos antigos engenhos à cartografia holandesa e portuguesa. UFMG. Passado Presente nos Velhos Mapas: Conhecimento e Poder. Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica. 1., **Anais [...].** Paraty: SBCH, 2011.

BOSENCE, D. W. J.; WILSON, R. C. L., Carbonate depositional system. **The Geological Record of Environmental Change**, v. 11, p. 102–233. 2002.

BOSQUILHA, G. E. **Estudo da distribuição de surfactantes aniônicos e de polifosfatos no Sistema Estuarino de Santos/São Vicente e Baía de Santos (SP Brasil) e avaliação das metodologias aplicadas**. 2002. 179f. Dissertação (Mestrado. Instituto Oceanográfico) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BOSTROM, F.; ANDERSEN, J.M.; FLEISCHER, S.; JANSSONM, M. Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. **Hydrobiologia**, v. 170, p. 229-224. 1988.

BRAGA, E. S. **Bioquímica Marinha e efeitos de poluição nos processos bioquímicos**. 2. ed. São Paulo: FUNDESPA, 2002.

BRAGA, R. A. P.; FARIAS, C. R. O.; SILVA, S. R.; CAVALCANTI, E. R. **Gestão e educação socioambiental na bacia do capibaribe**. 1. ed. Recife: Clã, 2015.

BRAGA; E. S.; BONETTI, C.; BURONE, L.; BONETTI FILHO, J. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic waste at Baixada Santista Estuarine System. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 2, p. 165-173. 2000.

BRANCO SM, ROCHA AA. **Elementos de ciência do ambiente**. 2. ed. São Paulo: Cetesb/ASCetesb, 1987.

BURRUS, D.; THOMAS, R.L.; DOMINIK, J.; VERNET, J.P. Seasonal delivery of the particulate forms of phosphorus to Lake Geneva form upper Rhone River. **Aquatic Science**, v. 52, p. 221–254. 1990.

CALLIARI, L. J.; WINTERWERP, J. C.; FERNANDES, E.; CUCHIARA, D.; VINZON, S. B.; SPERLE, M.; HOLLAND, K. T. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon-Cassino beach sedimentary system. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 3, p. 515-529. 2008.

CÂMARA, I. G. **Plano de Ação para a Mata Atlântica**. 4. ed. São Paulo: UNESCO/Cetesb /Fundação SOS Mata Atlântica, 1991.

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

Carta geotécnica da cidade do Recife, FINEP/LSI-DEC-UFPE, escala 1:25.000. 1995.

CARVER, R. E. **Procedures in Sedimentary Petrology**. 1. ed. New York: Wiley-Interscience; 1971.

CAZATI, C.A., **Fracionamento do fósforo em sedimentos superficiais do Complexo Estuarino de Paranaguá -Pontal do Paraná**. 2010. 95f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010.

CAZATI, C.A.; MACHADO, E.C.; SA, F.; COTOVICZ JUNIOR, L.C.; SILVA, K.R. Fracionamento do fósforo nos sedimentos recentes do complexo estuarino de Paranaguá, em ambientes com diferentes graus de trofia. Congresso Latino Americano de Ciências do Mar. 12., **Anais [...]**. Florianópolis: COLACMAR, 2007.

CHANG, S.C. E; JACKSON, M.L. Fracionation of soil phosphorus. **Soil Science**. v. 84, p. 133-144. 1957.

CHESTER, R.; RILEY, J. P. **Chemical Oceanography**. 7. ed. London: Academic Press Ltd; 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blücher; 1980.

CIESIN. 2014. **Environmental Performace Index - Full Report And Analysis.** 180p. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia. Disponível em: http://www.ciesin.org/documents/2014_epi_report.pdf. Acesso em: 15 Jun. 2016.

CLARK, M.W.; MCCONCHIE, D.; LEWIS, D.W.; SAENGER, P. Redox stratification and heavy metal partitioning in Avicennia-dominated mangrove sediments: a geochemical model. **Chemical Geology**, v. 149, n. 3, p. 147-171. 1998.

CLOERN, J.E.; CANUEL, E.A.; HARRIS, D. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. **Limnology and Oceanography**, v. 47, n. 3, p. 713–729. 2002.

COIMBRA-FILHO, A.F.; CÂMARA, I. DE G. **Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região nordeste do Brasil**. 86p. Fundação brasileira para conservação da natureza. Bases de dados da pesquisa agropecuária (EMBRAPA). Rio De Janeiro. 1996.

CONAMA. 2012. **Resolução 454 de 1 de novembro de 2012**. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. 17p. Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA), Brasil. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693. Acesso em: 29 mar. 2016.

CPRH. 2008. **Monitoramento aas Bacias - Capibaribe**.367p. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH). Disponível em: <http://cprh.pe.gov.br>. Acesso em: 26 ago. 2016.

CPRH. 2008. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco**. 96p. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH), Recife, PE, Brasil. Disponível em http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/B_Introdu%C3%A7%C3%A3o08.pdf. Acesso em: 15 de abr. 2018.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B. A.; BOYD, R. Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. **Journal of Sedimentary Research**, v. 62, n. 6, p. 1130-1146. 1992.
DERÍSIO JC. Introdução ao controle da poluição ambiental. 2. ed. São Paulo: Signus Editora; 2000.

DIAS, J. M. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**. 1. ed. Portugal: Universidade do Algarve; 2004.

EDDINS, S.G.N. Calculation of terrestrial inputs to particulate organic carbon in an anthropogenically impacted estuary in the southeastern united states. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 127, p. 227–241. 2001.

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

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. São Paulo: Interciência; 1988.

EVERTON FILHO, N. **Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio paciência em Iguaíba – Paço Do Lumiar (MA)**. 2009. 186f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

FAIRBRIDGE, R. W. Quasi-Equilibrium In Holocene Climatic Change. Quaternary International, V. 2, P. 83–89, 1989. FAIRBRIDGE, R.W., Eustatic changes in sea level. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 2, p. 99-185. 1961.

FEITOSA, F.A.N.; NASCIMENTO, F.C.R; COSTA, K.M.P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina, Recife-PE. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 27, n. 2, p. 1-13. 1999.

FERNANDES, B. B. **Variação do conteúdo de carbonato em estudos paleoceanográficos: um exemplo na bacia de campos**. 2010. 73f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. A study in the Significance of Grain-Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p. 3–26. 1957.

FÖRSTNER, U.; AHLF, W.; CALMANO, W. Metal Interaction with Organic Solids in Estuarine Waters - Experiments on the Combined Effects of Salinity and Organic Chelators. TUHH. International Conference: Environmental Contamination. **Anais […].** London: 1984.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G.T.W. **Metal pollution in the aquatic environment**. 1. ed. Berlin: Editora Springer; 2012.

GARCETTE-LEPECQ, A.; DERENNE, S; LARGEAU, C. Origin and formation pathways of kerogen-like organic matter in recent sediments o the Danube delta (Northwestern Black Sea). **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 1663–1683. 2000.

GASPAR, F. L.; FLORES-MONTES, M.J.; NASCIMENTO-FILHO, G.A; LINS, I.C.; PAULO, J.G.; LONGO, P.F.A. Spatial and seasonal sediment phosphorus species and its relation with granulometry, organic matter and CaCO3 in a tropical estuary. **Journal of Coastal Research**, v. 2, p. 1134-1139, 2013.

GAZEAU, F.; RIJSWIJK, P.V.; POZZATO, L; MIDDELBURG, J.J. Impacts of ocean acidification on sediment processes in shallow waters of the Arctic Ocean. **PLOS one**, v. 9, n. 4, p. 1-11. 2014.

GEBHARDT, A.C.; SCHOSTER, F.; GAYE-HAAKE, B.; BEESKOW, B.; RACHOLD, V.; UNGER, D.; ITTEKKOT, V. The turbidity maximum zone of the Yenisei River (Siberia) and its impact on organic and inorganic proxies. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 65, p. 61-73. 2005.

GOÑI, M.A.; TEIXEIRA, M.J.; PERKEY, D.W. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 57, p. 1023-1048. 2003.

GUO, L.; TANAKA, T.; WNG, D.; TANAKA, N.; MURATAB, A. Distributions, speciation and stable isotope composition of organic matter in the southeastern bering sea. **Marine Chemistry**, v. 91, p. 211–226. 2004.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. **Water Research**, v. 14, n. 8, p. 975-1001. 1980.

HAYS, J. D.; PERRUZZA, A. The significance of calcium carbonate oscillation in eastern equatorial atlantic deep-sea sediments for the end of the holocene warm interval. Quaternary Research, v. 362, p. 355-362. 1972.

HEDGES, J. I.; STERN, J. H. Carbon and Nitrogen Determinations of carbonate-containing solids. Limnology and Oceanography, v. 29, p. 657-663. 1982.

HEDGES, J.I.; STERN, J.H. Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. Limnology and Oceanography, v. 29, p. 657-663. 1984.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação de analises de componentes principal: teoria, interpretação e aplicação. **Engineering And Science**, v. 1, n. 5, p. 83–90. 2015.

IBGE. 2010. **Censo Demográfico 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em https://ibge.gov.br/. Acesso em 25 jan. 2016.

INMET. 2015. **Dados históricos de pluviometria do Brasil**. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasil. Disponível em: http://www.inmet.gov.br. Acesso em 20 mar. 2015.

KENNISH, M. J. **Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution**. 1. ed. New Jersey: CRC Press; 1997.

KJERFVE, B. **Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems**. 1. ed. Columbia: UNESCO/UNDP; 1990.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. **Marine geology**, v. 88, n. 3, p. 187-199. 1989.

KNIGHT J., FITZGERALD D.M. Towards an Understanding of the Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries. In: **High Resolution Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries**. Northern Ireland, 8:1-9. 2005.

KOLOWITH. L.C; COSTA, M.P.A. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes (relatório final). In: **Projeto REMAC**. Rio de Janeiro. Petobrás, 8:1-55. 1979.

KROM, M.D. E; BRENER, R. Adsorpition of phosphorus in anoxic marine sediments. **Limnology and Oceanography**, v. 25, p. 797-806. 1980.

LAMB, A.L.; WILSON, G.P.; LEING, M.J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using δ13C and C/N ratios in organic material a review of coastal palaeoclimate and relative sea-level. **Earth Science Reviews**, n. 75, p. 29-57. 2006.

LANA, P. C. M.; COUTO, E. C.; ALMEIDA, M. V. O. Polychaete distribution and abundance in intertidal flats of Paranaguá Bay (SE Brazil). **Bulletin Marine Science**, v. 60, n. 2, p. 433-442. 1997.

LARSSONEUR, C.; BOUYSSE, P.; AUFRET, J. P. The superficial sediments of the English Channel and its western approaches. **Sedimentology**, v. 29, n. 6, p. 851-864. 1982.

LERMAN, A.; MAKENZIE, F.T.; MAY VER, L. Coupling of the Perturbed C–N–P Cycles in Industrial Time. **Aquatic Geochemistry**, v. 10, p. 3-32. 2004.

LIMA, M.P.R. **Variação espacial e temporal da macrofauna bentônica do Estuário do Pina – Recife-PE**. 2006. 100p. Dissertação (Mestradocem Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

LISBOA, P. V.; FERNANDES, E. H. Anthropogenic influence on the sedimentary dynamics of a sand spit bar, Patos Lagoon Estuary, RS, Brazil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 15, n. 1, p. 35-46. 2015.

LUCOTTE, M.; ANGLEJAN, B.D. A comparation of several methods for the determination of iron hydroxides and associated orthophosphates in estuarine particulate matter. **Chemical Geology**, v. 48, p. 254-264. 1985.

LUGO, A.E. Avances Y Prioridades De Investigación En Manglares. ACIESP Simpósio Sobre Ecossistemas Da Costa Sul E Sudeste Brasileira. **Anais [...]**. São Paulo: 1987.

MACÊDO, S. J.; SILVA, H. K. P.; BRAYER, F. M. M.; DUARTE, M. M. M. B.; BARBOSA, A. M. F. Heavy metal concentrations in sediments of the capibaribe river estuary in the metropolitan region of Recife, Pernambuco-Brazil. **Wit Transactions on Ecology and The Environment,** v. 102, p. 357-365. 2007.

MACIEL, D.C.; SOUZA, J.R.B.; TANIGUCHI, S.; BÍCEGO, M.C.; SCHETTINI, C.A.F.; ZANARDI-LAMARDO, E. Hydrocarbons in sediments along a tropical estuary-shelf transition area: sources and spatial distribution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 113, p. 566-571. 2016.

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry**. 8. ed. New York: CRC Press; 2005.

MANSO V. A. V.; COUTINHO, P. N.; GUERRA, N. C.; SOARES J. R. Erosão e progradação do litoral brasileiro- Pernambuco. In: **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, 179-196. 2006.

MARCONDES, A.C.J. **Sedimentologia e morfologia da Bacia do Pina, Recife-PE**. 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora de qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe, Costa Nordeste Oriental Brasileira. **Quimica Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214. 2007.

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO-CASTRO, C.N.V.; COSTA, M.F; REZENDE, C.E. Geoquímica de metais em sedimentos da zona estuarina do complexo industrial porto de Suape, PE - Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 4, p. 379-387. 2011.

MARQUES, V.A. **As mudanças climáticas e a segurança nacional dos estados Unidos: uma reflexão sobe o processo de securitização da escola Copenhague**. 2012. 78f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Relações Internacionais) - Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2012.

MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; MOREIRA, M.Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2009.

MARTINS, C. C.; MAHIQUES, M. M.; BÍCEGO, M. C.; FUKUMOTO, M. M.; MONTONE, R; 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.

MARTINS, S. E. M., **Caracterização paleoambiental de sedimentos holocênicos da plataforma continental interna adjacente ao porto de Recife e do estuário do rio Formoso, Costa de Pernambuco – Brasil**. 2017. 183f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

MARTINS, S.E.M.; BARCELLOS, R.L.; FLORES-MONTES, M.J.; FRANÇA, E.J. Depositional evolution in a lagoonal estuarine system under a port influence in Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, p. 84-88. 2016.

MEDEIROS, C.; KJERFVE, B. Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 36, p. 495-515. 1993.

MEDEIROS, G.C.P.L. **Avaliação Das Concentrações De Nitrogênio Total, Orgânico E Inorgânico Na Fração Dissolvida Como Parâmetros Indicadores Da Qualidade Da Água Na Região Estuarina Do Rio Capibaribe, Recife- Pernambuco**. 2007. 36f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Em Ciências Ambientais) - Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2007.

MELO, R. R. C.; AZEVEDO, J. R. G. Dynamics of sedimentary Capibaribe River bed after deepening dredging. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 4, p. 871-881. 2016.

MENDES-FILHO, N. E. **Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no médio estuário do rio Paciência em Iguaíba – Paço do Lumiar (MA).** 2009. 186f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009.

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

MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v. 114, p. 289-302. 1994.

MEYERS, P. A.; ISHIWATARI, R. Lacustrine Organic Geochemistryman Overview of Indicators of Organic Matter Sources and Diagenesis In Lake Sediments. **Organic Geochemistry**, v. 20, n. 7, p. 867-900. 1993.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 1. ed. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: Edusp; 2002.

MOLINAROLI, E.; SARRETTA, A.; FERRARIN, C.; MASIERO, E.; SPECCHIULLI, A.; GUERZONI, S. Sediment grain size and hydrodynamics in Mediterranean coastal lagoons: Integrated classification of abiotic parameters. **Journal of Earth System Science**, v. 123, n. 5, p. 1097-1114. 2014.

MONTEIRO, L. H. U.; SILVA, G. S.; LIMA, L. L. L.; COUTINHO, P. N. Estudos hidrodinâmicos e hidro químicos do estuário do rio Capibaribe e Bacia do Pina, Recife-PE. USP. 5., Simpósio Brasileiro de Oceanografia. **Anais [...]**. São Paulo: 2011.

MONTEIRO, M. C.; JIMÉNEZ, J. A. & PEREIRA, L. C. C. Natural and human controls of water quality of an Amazon estuary (Caeté-PA, Brazil). **Ocean & Coastal Management**, v. 24, p. 42-52. 2016.

MURPHY, I.; RILEY, S.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p. 31-36. 1962.

NASCIMENTO, F.C.R.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F.A.N.; ARAÚJO, J.P.; SILVA, R.M.S.; SILVA, G.S.; FLORES MONTES, M.J. Disponibilidade nutricional da Bacia do Pina e rio Tejipió (Recife-PE- Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (setembro/2000). **Tropical Oceanography**, v. 31, n. 2, p. 149-169. 2003.

NETO, J.J.S. **Avaliação Das Condições Ambientais Do Estuário Do Rio Capibaribe Baseada No Estudo Da Distribuição Sazonal Do Fósforo**. 2008. 50f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado Em Ciências Biológicas/Modalidade Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

NOBREGA, A.S.DE C. **Fontes de contaminação no estuário do Capibaribe, Pernambuco**. 2011. 57f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

NORIEGA, C. E. D. **Estado trófico e balanço biogeoquímico dos nutrientes não conservativos (N e P), na região Metropolitana do Recife - Brasil**. 2010. 104f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

NORIEGA, C. E. D.; SANTIAGO, M. F.; FAÇANHA, P.; CUNHA, M. G. G. S.; SILVA, R. A.; FLORES-MONTES, M. J.; ARAÚJO FILHO, M. COSTA, K. M. P.; LEÇA, E. E.; NEUMANN-LEITÃO, S. The instantaneous transport of inorganic and organic material in a highly polluted tropical estuary. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, p. 562-572. 2013.

NORMAN, A. G.; WERKMAN, C. H. The use of the nitrogen isotope n15 in determining nitrogen recovery from plant materials decomposing in soil. **Journal Of American Society Of Agronomy**, v. 35, p. 1023-1025. 1943.

NUNES, M. DE L. F. **Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Bacanga e Anil na ilha do Maranhão**. 2013. 97f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.

NÜRNBERG, G. K. The prediction of internal phosphorus load in lakes with anoxic hypolimnia. **Limnology and Oceanography**, v. 29, n. 1, p. 111–124. 1984.

ODUM, W. E.; MCIVOR, C. C.; SMITH, T. J. The Ecology of The Mangroves of South Florida: A Community Profile. A final report by the U.S. Fish and Wildlife Service for the U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service Gulf of Mexico OCS Office. 144p. 1982.

OLIVEIRA, G. D.; MATTOS, K.M.C. Impactos ambientais provocados pela indústria de camarão no município de Nísia Floresta (RN). **Revista Ibero Americana de Estratégia**, v. 6, n. 2, p. 183-188. 2007.

OLIVEIRA, T. DE S. **Processo Sedimentar Atual e Distribuição da Matéria Orgânica no Sistema Estuarino dos Rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (Recife-PE).** 2014. 113f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

OLIVEIRA, T.S.; BARCELLOS, R.L.; SCHETTINI, C.A.F; CAMARGO, P.B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, p. 399-411. 2014.

OTTMANN, F. E OTTMANN, J. La Maree De Salinite Dans Le Capibaribe Recife Brésil, **Trabalho do Instituto de Biologia Marítima e Oceanografia**, v. 1, n. 1, p. 39-49. 1959a.

OTTMANN, F.; OTTMANN, J. Les Sediments De L'embouchure Du Capibaribe Recife-Brèsil. **Trabalho do Instituto de Biologia Marítima e Oceanografia**, v. 1, n. 1, p. 51-69. 1959b.

PAIVA, F. M. L.; DINIZ, L. S.; CATÃO, R. C. Análise de volumes de espera para as principais barragens do Rio Capibaribe. ABRHidro. XVII., Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais [...].** São Paulo: 2007.

PARDAL, E.C.; BARCELLOS, R.L.; OLIVEIRA, I.V. DE; FLORES-MONTES, M.J E CAMARGO, P. B. DE. Processo sedimentar sazonal e evidências de poluição em um estuário

tropical urbanizado. FURG. II., Congresso Ibero americano de Gestão Integrada de Áreas Litorais. **Anais […]**. Florianópolis: 2016.

PARDO, P.; RAURET, G.; LOPEZ-SANCHEZ, J. F. analytical approaches to the determination of phosphorus partitioning patterns in sediments. **Journal of Environmental Monitoring,** v. 5, p. 312–318. 2003.

PARDO, P.; RAURET, G.; LÓPEZ-SANCHEZ, J.F., Shortened screening method for phosphorus fractionation in sediments A complementary approach to the standards, measurements and testing harmonized protocol. **Analytica Chimica Acta**, v. 508, p 201-206. 2004.

PAROPKARI, A.L., IYER, S.D., CHAUHAN, O.S.; PRAKASH BABU, C. Depositional Environments Inferred from Variations of calcium Carbonate, Organic Carbon, and Sulfide Sulfur: A core from Southeastern Arabian Sea. **Geo-Marine Letters**, v. 11, p. 96-102. 1991.

PASSAVANTE, J.Z.O. Produção fitoplanctônica do estuário do Rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). IPA. Congresso Nordestino De Ecologia, **Anais [...]**. Recife: 2003.

PEDROSA, F. J. A.; COUTINHO, R. Q.; MEDEIROS, A. B.; BORBA, A. L. S.; LIRA, A. R. A. Projeto Carta Geotécnica da Cidade do Recife. Finep/Ufpe, 1995.

PERILLO, G. M. E. Definitions and geomorphologic classification of estuaries. In: Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Argentina, 53:17-46. 1996.

PETERSON, B. J.; HOWARD, R. W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the Salt-Marsh Estuaries of Sapelo Island, Georgia. **Limnology and Oceanography**, v. 32, n. 6, p. 1195–1213. 1987.

PETTIJOHN, F.J. **Sedimentary Rocks**. 2. ed. New York: Harper & Row; 1975.

PIVELLI R.P; KATO M.T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. 1. ed. São Paulo: ABES; 2005.

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

PORTELA, P. J. C. 2013. **Análise elementar e isotópica de sedimentos estuarinos do Rio Alcabrichel Torres Vedras) e da Ribeira de Bensafrim (Lagos).** 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Geologia do Ambiente, Risco Geológico e Ordenamento do Território)- Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

PRITCHARD, D.W. What is an estuary: physical viewpoint Estuaries. **American association for the advancement of science,** v. 83, p. 3-5. 1967.

PROJETEC. 2010. **Plano Hidroambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Capibaribe: Tomo I - Diagnóstico Hidroambiental Volume 01/03 - Projetos Técnicos.** 18p. Secretaria De Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (SRHE), Recife. Dispocível em: http://www.sirh.srh.pe.gov.br/hidroambiental/bacia_capibaribe/index.php/abertura. Acesso em 12 set. 2010.

PROTAZIO, L.; TANAKA, S.M.C.N.; CAVALCANTE, P.R.S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. **Analytica**, v. 8, p. 35-41. 2004.

QUEVEDO, C. M. G.; PAGANINI, W. DA S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3539-3539. 2011.

RAO, J.L.; BERNER, R.A. Time variations of phosphorus and sources of sediments beneath the Chang Jiang (Yangtze River). **Marine Geology**, v. 139, p. 95-108. 1997.

READING, H. G.; COLLINSON, J. D. Clastic Coasts. In: **Sedimentary Environments:** Processes, Faceis And Stratigraphy. Reino Unido. 154–231. 1996.

REDDY, K.R.; KADLEC, R.H.; FLAIG, E.; GALE., P.M. Phosphorus retention in streams and wetlands: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Techonology**, v. 29, p. 83-146. 1999.

REDFIELD, A.C. The Biological Control of Chemical Factors in the Environment. **American Scientist**, v. 46, n. 3, p. 205–221. 1958.

RIDGWAY, J.R.; SHIMMIELD, G. Estuaries as Repositories of Historical Contamination and their impact on Shelf Seas. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 55, p. 903-928. 2002.

ROMANKEVICH, A.L. **Geochemistry of Organic Matter in the Ocean**. 1. ed. New York: **Springer-Verlag**; 1984.

ROMESBURG, H.C. **Cluster Analysis for Researchers**. 1. ed. California: Lifetime Learning Pub; 1984.

ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.; DOMINGUEZ, J.M.L. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth-Science Reviews**, v. 123, p. 87-112. 2013.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; BEZERRA, F.H.; VALERIANO, M.M.; BRITO NEVES, B.B.; OCHOA, F.L. Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, v. 84, n. 2, p. 313-334. 2012.

RUBAN, V.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. F.; PARDO, P.; RAURET, G.; MUNTAU, H.; QUEVAUVILLER, P. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments – A synthesis of recent works. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, v. 370, p. 224-228. 2001.

RUIZ-FERNÁNDEZ, A.C.; HILAIRE-MARCEL, C.; GHALEB, B.; SOTO-JIMÉNEZ, M. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, NW Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. **Environmental pollution**, v. 118, p. 365-377, 2002.

RUTTENBERG, K. C.; GOÑI M. A. Phosphorus Distribuition, C: N:P Ratios, and δ13C in Arctic, Temperate and Tropical Coastal Sediments: Tolls for Characterizing Bulk Sedimentary Organic Matter. **Marine Geology**, v. 139, n. 4, p. 123-145. 1997.

RUTTENBERG, K.C. Development of a sequencial extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 7, p. 1460-1482. 1992.

SAITO, Y.; NISHIMURA A.; MATSUMOTO E. Transgressive and Sheet Covering the Shelf and Upper Slope off Sendai, Northeastern Japan. **Marine Geology**, v. 89, n. 3, p. 245-258. 1989.

SALAZAR, J. Capibaribe Vivo/ Vários autores. Recife: Parque Capibaribe. p 163. 2015.

SANTOS, E.S.; JENNERJAHN, T.; MEDEIROS, P.R.P.; SOUZA, W.F.L. DE.; KNOPPERS, B.A. Origem da matéria orgânica sedimentar no delta-estuarino do Rio São Francisco, AL/SE - Brasil. **Geochemical Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 37-48. 2013.

SANTOS, L. D. **Dinâmica Sedimentar e o Comportamento Sazonal Da Matéria Orgânica No Estuário Do Rio Formoso – PE**. 2016. 96f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SANTOS, L.D.; BARCELLOS, R.L. **Sedimentação Atual Do Estuário Do Rio Formoso – PE (Brasil)**. 1. ed. Alemanha: Nea-Edições; 2017.

SANTOS, T.G.; BEZERRA-JUNIOR, J.L.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 95-109. 2009.

SANTOS. M.L.S.; SARAIVA, A.L.L; DELFINO, I.B.; ANTUNES, L.C.; BATISTA; R.M.M. E ALVES, I.C.C. Avaliação das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da plataforma continental do Rio Amazonas. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 4, p. 589-596. 2010.

SCHETTINI, C. A. F.; MIRANDA, J. B.; TRUCCOLO, E. C.; DOMINGUES, E. C. The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64(3): 263–276. 2016a.

SCHETTINI, C.A.F.; MIRANDA, J.B. DE.; VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E.; DOMINGUES, E.C. The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 3, p. 263-276. 2016b.

SCHUBEL, J. R.; CARTER, H. H. The Estuary as A Filter For Fine-Grained Suspended Sediment. In: **The Estuary as a Filter**. Orlando, 81-105. 1984.

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

SHIYUAN, X.; XIAJIANG G.; MIN, L.; ZHENLOU, C. China's Yangtze estuary II. Phosphorus and polycyclic aromatic hydrocarbons in tidal flat sediments. **Geomorphology**, v. 41, p. 207-217. 2001.

SILVA, A.E. DA S. **Evolução sedimentar recente ao longo de uma plataforma continental com estilo contrastante de sedimentação**. 2017. 171f. Tese (Doutorado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2017.

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

SILVA, J. B.; GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA A. C. B.; SILVA D. G.; MACHADO C. C. C. Classificação geomorfológica dos estuários do estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 118-133. 2011.

SILVA, J. P. **Sedimentologia, Batimetria, Qualidade de Água e Vulnerabilidade do Rio Capibaribe na Cidade do Recife**. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2003.

SNEDAKER, S. C. Mangrove Species Zonation: Why? **Springer**. v. 2. p. 111-125. 1982.

SOS MATA ATLÂNTICA. 2017. **Floresta: A Mata Atlântica**. Fundação SOS Mata Atlântica. São Paulo, Brasil. Disponível em: https://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/. Acesso em 28 out. 2017.

SOUZA, C. R. **Análise de sedimentos associados a atividades de perfuração na plataforma continental externa, Bacia Potiguar - Brasil**. 2014. 118f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SOUZA, J.R.B. DE.; COSTA, A.B.; AZEVEDO, A.E.G. DE.; SANTOS, T.H.R. DOS.; SPANO, S.; LENTINI, C.A.D.; BONAGAMBA, T.J.; SILVA, R.O.; NOVOTNY, E.H.; ZUCCHI, M.R.

Carbon and nitrogen stable isotope compositions of organic matter in marine sediment cores from the Abrolhos region: indicators of sources and preservation. **Geochemica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 13-23. 2013.

SPIVAKOV, B. Y.; MARYUTINA, T. A.; MUNTAU, H. Phosphorus Speciation in Water and Phosphorus Speciation in Water and Sediments. **Pure and Applied Chemistry**, v. 71, n. 11, p. 2161-2176. 1999.

SRH. 2010. **Plano Hidroambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Capibaribe: Resumo Executivo / Projetos Técnicos**. 12p. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (SRH). Recife, PE, Brasil. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/COBHs/capibaribe/PTD_Capibaribe_RESUMO.pdf. Acesso em 02 de ago. 2010.

STEIN, R. **Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments: Results from the Deep-Sea Drilling Project/ Ocean Drilling Program**. 1. ed. Berlin: Springer. 1991.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. **A practical handbook of sea water analysis**. 2. ed. Ottawa: Bulletin of Fisheries Research Board of Canada; 1968.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1. ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda; 2003.

SUGUIO, K. **Introdução À Sedimentologia**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda; 1973.

SULZMAN, E. Stable Isotope Chemistry and Measurement: A Primer. In: **Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science**. Austrália, 2:1-23. 2008.

TEIXEIRA, M.J. **Characterization, distribution and association of natural organic matter and polycyclic aromatic hydrocarbons in Winyah Bay, South Carolina**. 2000. 202f. Tese (Doutorado em Química) - University of South Carolina, 2000.

TEIXEIRA, M.R. **Avaliação Da Alcalinidade E Dureza Como Parâmetros Indicadores De Qualidade Da Água No Estuário Do Rio Capibaribe, Recife- PE**. 2007. 42f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado Em Ciências Biológicas Modalidade Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

THORNTON, S. F.; MCMANUS, J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and c/n ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence for the Tay Estuary, Scotland. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 38, n. 3, p. 219-233. 1994.

TOLOSA, I.; FIORINI, S.; GASSER, B.; MARTÍN, J.; MIQUEL, J.C. Carbon sources in suspended particles and surface sediments from the beaufort sea revealed by molecular lipid biomarkers and compound-specific isotope analysis. **Biogeosciences**, v. 10, n. 3, p. 2061–2087, 2013.

TRAINI, C.; PROUST, J. N. MENIER, D.; MATHEW, M. K. Distinguishing natural evolution and human impact on estuarine morpho-sedimentary development A case study drom the Vilaine Estuary, France. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 163(part B), p. 143-155. 2015.

TRAVASSOS, P. E. P. F. **Hidrologia E Biomassa Primária Do Fitoplâncton No Estuário Do Rio Capibaribe, Recife – Pernambuco**. 1991. 287f. Dissertação (Mestrado Em Oceanografia Biológica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1991.

TRAVASSOS, P.E.P.F.; MACEDO, S.J.; KOENING, M.L. Aspectos hidrológicos do estuário do rio Capibaribe (Recife- PE- Brasil). **Trabalhos Oceanográficos**, v. 2, p. 9-38. 1991.

TRAVASSOS, R.K.; FLORES MONTES, M.J.; COSTA, B.V.M.; SILVA JÚNIOR, J.M. The influence of urban effluents on elemental C/N ratio in a tropical coastal area of northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, p. 168-172. 2016.

TYSON, R.V. **Sedimentary Organic Matter: Organic facies and palynofacies**. 1. ed. London: Springer Netherlands; 1995.

UREY, H. C. The Thermodynamic Properties of Isotopic Substances. **Journal of The Chemical Society,** p. 562–581. 1947.

USUI, T.; NAGAO, S.; YAMAMOTO, M.; SUZUKI, K.; KUDO, I.; MONTANI, S.; NODA, A.; MINAGAWA, M. Distribution and sources of organic matter in surficial sediments on the shelf and slope off Tokachi, western North Pacific, inferred from C and N stable isotopes and C/N ratios. **Marine Chemistry**, v. 98, p. 241-259. 2006.

VAITHIYANATHAN, P.; JHA, P. K.; SUBRAMANIAN, V. Phosphorus distribution in the sediments of the Hoogly (Ganges) estuary, India. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 37, n. 6, p. 603 – 614. 1993.

VASCONCELOS, T. L.; SÁ, L.A.C.M.De. A Cartografia Histórica da Região Metropolitana do Recife. UFMG. Passado Presente nos Velhos Mapas: Conhecimento e Poder. I., Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica. **Anais [...].** Paraty: 2011.

VERONEZ, P.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S. Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 4, p. 609–624. 2009.

WATANABE, F.S.; OLSEN, S.R. Test of an ascorbic acid method for determination phosphorus in water an NaHCO3 extracts from soil. **Soil Science Society Proceedings**, v.29, p. 677-678. 1965.

WATSON, E. B.; PASTERNACK, G. B.; GRAY, A. B.; GÔNI, M.; WOOLFOLK, A. 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.

WETZEL, R.G. **Limnology**. 2. ed. Philadelphia: Saunders College Publishing; 1983.

WILLIANS, J. D.; JAQUET, J.M.; THOMAS, R. L. Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie. **Bulletin of Fisheries Research Board**, v. 33, p. 413-429. 1976.

WOODROFFE, C. Mangrove Sediments and Geomorphology. In: **Tropical Mangrove Ecosystems**. U.S.A. 1992.

XAVIER, D. A. **Sedimentação Recente Do Meio E Baixo Estuário Do Rio Capibaribe – Recife – Pernambuco**. 2017. 167f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

XAVIER, D.A., BARCELLOS, R.L., FIGUEIRA, R.C.L.; SCHETTINI, C.A.F. Evolução sedimentar do estuário do rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. **Tropical Oceanography**, v. 44, p. 74-88. 2016.

XAVIER, D.A., SCHETTINI, C.A., FRANÇA, E.J.; FIGUEIRA, R.C.F.; BARCELLOS, R.L. Determination of geochemical background values on a tropical estuarine system in a densely urban area. Case study: Capibaribe estuary, Northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, p. 381-386. 2017.

YOGUI, G.T.; SANTOS, M.C.O.; BERTOZZI, C.P.; MONTONE, R.C. Levels of persistent organic pollutants and residual pattern of DDTs in small cetaceans from the coast of São Paulo, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, p. 1862-1867. 2010.

ZANARDI-LAMARDO, E.; NÓBREGA, A.S.C.; SANTOS, R.H.A.; MACIEL, D.C. Fontes e níveis de contaminação do sistema estuarino do Rio Capibaribe (Pernambuco/Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 44, p. 118-132. 2016.

ZHANG, J. Heavy metal compositions of suspended sediments in the Changjiang (Yangtze River) estuary: significance of riverine transport to the ocean. **Continental Shelf Research**, v. 19, n. 12, p. 15211543. 1999.

ZHANG, L.; YE, X; FENG, H; JING, Y; OUYANG, T; YU, X; LIANG, R; GAO, C.; CHEN, W. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, p. 974-982. 2007.

ZOURARAH B, MAANAN M, CARRUESCO C, AAJJANE A, MEHDI K.; CONCEIÇÃO FREITAS M. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast). **Estuarine Coastal Shelf Sci**, v. 72, p. 359-369. 2007.

APÊNDICE A - TESTES QUÍMICOS PARA VALIDAÇÃO DA EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE FÓSFORO SEDIMENTAR

1 INTRODUÇÃO

O Fósforo é um nutriente de grande importância para o crescimento dos seres vivos. Sendo também de grande valia na dinâmica de ecossistemas aquáticos (Insain e Jakmunee, 2017). Por outro lado, esse elemento está associado à poluição das águas, à processos de eutrofização, além de alterações biológicas (Havens et al., 2011). Sua dinâmica em ecossistemas aquáticos pode ser mensurada por meio dos sedimentos, associados a elementos orgânicos e inorgânicos, apresentando capacidade de se transferirem para água por meio dos processos de dessorção, dissolução de inorgânicos por redução e da deterioração de matéria orgânica (Zhang et al., 2009,; Zhang et al., 2015; Hansen e Ma´Rquez-Pacheco, 2015).

Sendo o ciclo do fósforo essencialmente endógeno, seu papel vital nesse ciclo é participar de processos físicos, químicos e biológicos (Kaiserli *et al*. 2002). O fósforo sedimentar pode ser utilizado como parâmetro para avaliar a entrada do nutriente, em corpos hídricos, principalmente a porção do fósforo inorgânico que está associada com o crescente aumento populacional, ligados a despejos de efluentes domésticos e industriais (Manahan, 2005; Reddy *et al*., 1999; Rao e Berner, 1997; Gaspar, 2013).

A importância dessa fração vem sendo muito reconhecida no âmbito da pesquisa científica. Alguns trabalhos sobre fósforo sedimentar, relacionados à poluição antrópica, foram realizados por todo o mundo e diferentes esquemas de extração de fósforo sedimentar foram desenvolvidos por diversos pesquisadores ao longo desses anos (Chang *et al*., 1957; Lucotte e d'Angelian 1985; Willians *et al*., 1976; Burros *et al*. 1990; Ruttenberg 1992; Ruban *et al*., 2001; Pardo *et al*., 2004. Wang *et al*, 2013).

Contudo, poucos trabalhos apresentam a reunião dessa metodologia, que vai da conservação, extração, diluição, leitura e cálculos matemáticos, dificultando em muitas vezes o desenvolvimento de pesquisas com fósforo sedimentar.

Essa sequência metodológica é muito longa e, caso o número amostral seja grande, o trabalho é mais extenso e muito demorado, além de que se utilizam métodos titulométricos, ao contrário da facilidade de obtenção dos teores de elementos como o carbono, nitrogênio, enxofre por meio de analisadores automáticos (Ruttenberg e Goñi, 1997). Neste sentido, como não foi encontrado nenhum trabalho referente a durabilidade e estabilidade de fósforo sedimentar extraídas para posteriores análises, criou-se a hipótese do trabalho: *Ao realizar a extração do fósforo no sedimento, a parte da amostra tratada poderia ser armazenado em temperatura ambiente ou congelada sem perda de qualidade analítica.*

Com o intuito de verificar essa hipótese esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes condições de armazenamento na estabilidade do padrão de calibração do fósforo sedimentar e de extrato de fósforo inorgânico sedimentar, de amostras do Estuário do Rio Capibaribe -PE.

2 METODOLOGIA

2.1 DETERMINAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO INORGÂNICO SEDIMENTAR

A extração de fósforo inorgânico sedimentar (PIs) seguiu o método proposto por "Standards, measurements and testing programme" (protocolo SMT), descrito por Pardo *et al*., (2004).

2.2 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE FÓSFORO SEDIMENTAR

Após a retirada do extrato, o mesmo foi submetido à leitura espectrofotométrica e as concentrações foram determinadas pelo método espectrofotométrico de Murphy e Riley (1962) descrito por Watanabe e Olsen (1965).

2.3 CÁLCULO

De acordo com a metodologia descrita por Ruban et al., (1999), a concentração obtida no espectrofotômetro deve ser aplicada na fórmula abaixo para chegar ao valor da concentração de fósforo em mg/g:

$$C = \frac{SV}{10^3 m}$$

C= Concentração de fósforo em (mg/g)
S= Concentração de fósforo no extrato (mg/L)
V=Volume do ácido usado para extração(L)
m= Quantidade da amostra pesada (g)

2.4 CURVA DE CALIBRAÇÃO

O método para calibração foi proposto por "Standards, measurements and testing programme" (protocolo SMT) utilizando o padrão de sedimento BCR apresentado na Figura 1, O método STM foi descrito por Pardo *et al*., (2004). E as concentrações utilizadas para aferição da curva de calibração

foram as determinadas pelo método espectrofotométrico de Murphy e Riley (1962) descrito por Watanabe e Olsen (1965). Os dados da curva de calibração estão apresentados na Tabela a seguir.

Tabela 1 Curva de calibração, com seus respectivos volumes e concentrações. B= Branco do reagente.

	Solução padrão (ml)	*Concentração para 100ml (µmol/l)*	*Concentração (mg/l)*
B	0	-	-
1	2,5	0,75	0,02325
2	5	1,5	0,0465
3	10	3	0,093
4	2	6	0,186
5	30	9	0,279
6	50	15	0,465
7	100	30	0,93

3 FASE EXPERIMENTAL

O experimento foi dividido em duas fases:

1º Fase – Análise do Padrão, para verificar a sua durabilidade e estabilidade em dois modos de armazenamento: temperatura ambiente e a -4°C.

2º Fase - Análise de uma amostra de sedimento obtida a montante do Estuário do Rio Capibaribe, Recife -PE.

A amostra a montante do estuário está localizada a -34.93626667 e -8.027866667, apresentou 2,09% de cascalho, 27,69% de areia, 32,10% de silte, 38,1% de argila, 13 % de carbonato de cálcio e 10,60% de matéria orgânica total.

3.1 FASE 1

Na primeira fase, foi realizada a extração da solução padrão utilizando o padrão de sedimento BCR (Figura 1). Após a extração da solução padrão, esta foi dividida em partes iguais em 210 frascos, dos quais 10 foram analisados no mesmo dia da extração para servir de referência para os valores de concentração fósforo inorgânico. As 200 amostras restantes, 100 foram congeladas a - 4°C e 100 armazenadas em temperatura ambiente ao abrigo da luz.

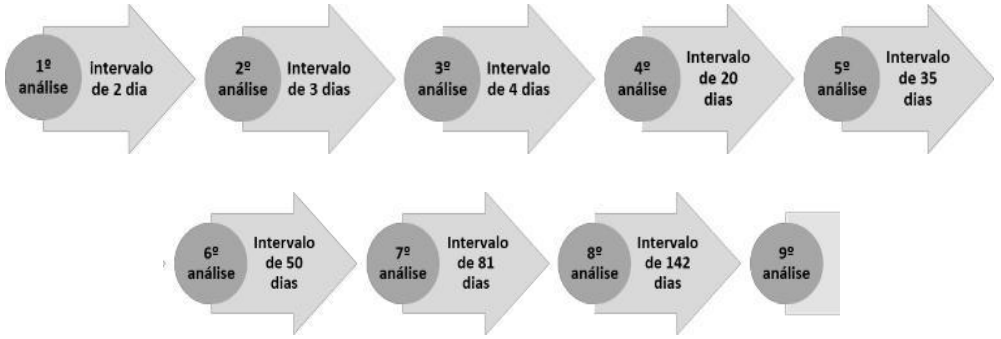
Figura 1-Padrão de sedimento BCR 684

Figura 1

Fonte: (Gaspar, 2013)

Para análise destas amostras, foram estabelecidos uma sequência de 11 análises com diferentes intervalos de tempo, sendo a primeira análise utilizada como referência e as outras 10 utilizadas para comparação. A sequência estabelecida está apresentada na Figura 2

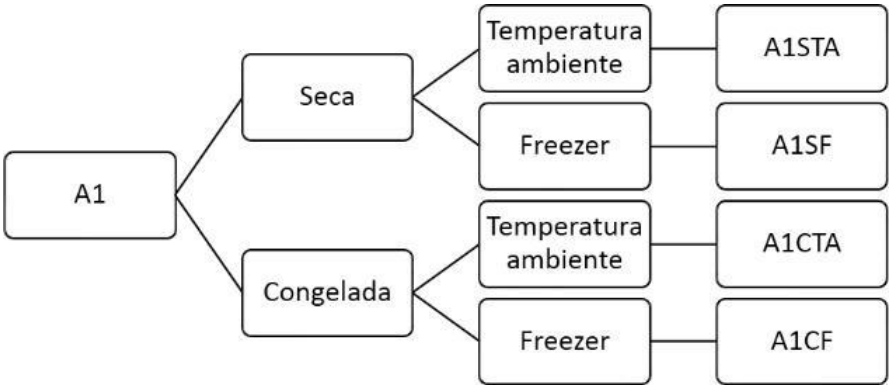
Figura 2. Sequência dos dias da análise



A fase 2 consistiu na análise da amostra de sedimento Estuarino do rio Capibaribe. Foi coletada uma amostra, no ano de 2010, a qual foi dividida em duas porções, para fins de verificação de possível alteração da concentração de fósforo sedimentar, uma parte foi seca para a retirada da água e outra foi congelada a -4°C, totalizando assim 2 amostras (denominadas de AS e AC, respectivamente). Estas amostras foram analisadas utilizando a mesma metodologia empregada na fase 1.

Cada uma das 2 amostras foi extraída. Em seguida, esta foi dividida em partes iguais e armazenadas em 102 frascos. No 1°dia foi obtida uma tréplica da amostra seca (AS) e uma tréplica da amostra congelada (AC), a qual foi dada como valor de referência para os demais dias. Das 96 amostras restantes, 48 foram congeladas a -4°C e 48 armazenadas em temperatura ambiente ao abrigo da luz (Figura 3). Leituras de tréplicas de cada amostra foram realizadas seguindo o seguinte intervalo: análises em dias consecutivos até o 4º dia, em seguida com 20, 35, 50, 81 e 142 dias, totalizando um experimento com 9 leituras.

Figura 3. Esquema do procedimento experimental da amostra de fósforo sedimentar do estuário do Capibaribe, 2010. (Legenda: ASTA- Amostra seca, Temperatura Ambiente; ASF- Amostra seca, ambiente refrigerado; ACTA-Amostra congelada, temperatura ambiente; ACF- Amostra congelada, ambiente refrigerado).



4 RESULTADOS

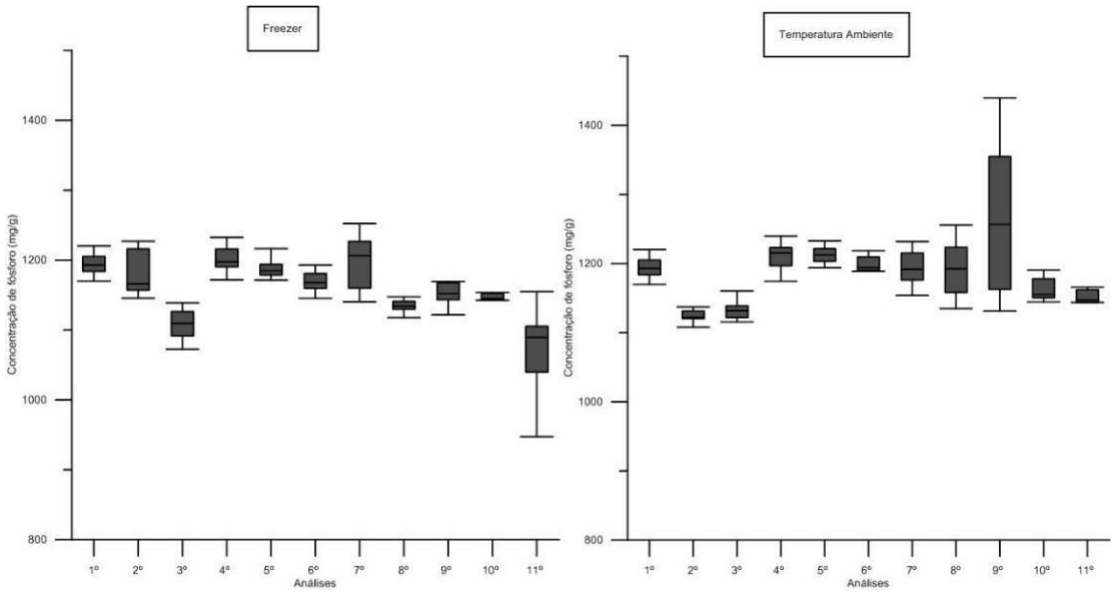
4.1 FASE 1

No geral, as amostras armazenadas no freezer (-4°C) apresentaram menor desvio padrão apresentando valor de concentração variando de 947,96mg.kg a 1252,25mg.kg, enquanto as amostras armazenadas a temperatura ambiente apresentaram variação de 1098,03mg.kg a 1439,40mg.kg (Tabela 2 e Figura 4).

Tabela 2. Dados de Máxima (Mx), Mínima (Mn), Média (M) e Desvio Padrão (DP) das análises realizadas com Reagente Padrão, tanto para as amostras armazenadas congeladas a -4°C quanto para as amostras armazenadas em Temperatura ambiente.

CONGELADAS (-4°C)											
DIAS	1 dia	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias	7 dias	8 dias	13 dias	42 dias	58 dias	142 dias
LEITURAS	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
MX	1220,40	1227,01	1214,96	1232,42	1216,28	1252,24	**1252,25**	1147,47	1169,40	1153,46	1154,90
MN	1146,25	1145,45	1072,40	1171,64	1171,27	1145,32	1140,23	1108,32	1121,76	1125,86	**947,46**
M	1190,44	1181,55	1116,28	1202,45	1187,30	1175,98	1197,98	1131,96	1152,14	1145,31	1069,34
DP(±)	21,08	31,38	40,38	19,32	12,87	30,42	37,81	11,61	15,25	8,10	65,74
		Temperatura ambiente									
MX	1220,40	1181,55	1160,28	1239,89	1232,79	1218,55	1231,88	1255,47	**1439,40**	1190,56	1165,68
MN	1146,25	1107,97	1115,43	1174,17	1193,72	1122,80	1154,02	1134,86	1131,38	1144,40	**1098,03**
M	1190,44	1128,56	1133,08	1211,33	1213,75	1193,07	1194,46	1190,72	1264,85	1162,10	1144,31
DP(±)	21,08	20,13	15,05	20,16	12,23	26,90	25,01	40,19	99,69	17,18	22,96

Figura 4. Média e Desvio Padrão dos dados correspondentes à primeira fase do experimento das amostras armazenadas no freezer (a-4°C) e das amostras preservadas em Temperatura ambiente (experimento com 10 réplicas da solução padrão de fósforo).

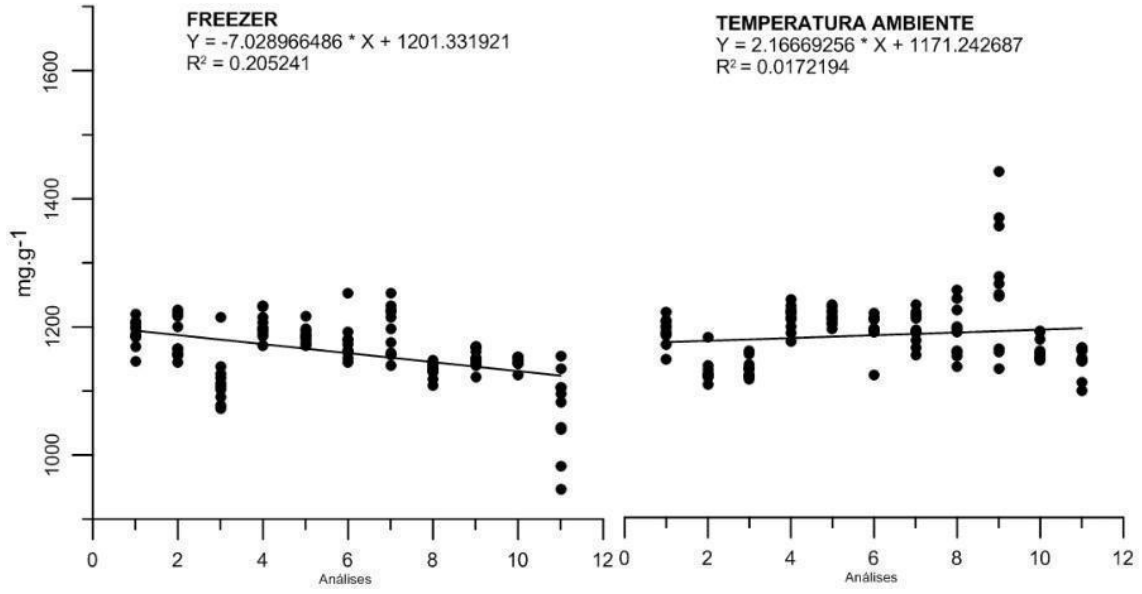


A regressão linear mostrou menores valores para as amostras armazenadas em temperatura ambiente e maiores valores de R^2 para as amostras congeladas a -4°C, com R^2= 0,0172 e R^2=0,2052 respectivamente (Figura 5).

Nesta fase as amostras de temperatura ambiente tiveram 95% de precisão, pois apenas 5% ficaram fora do intervalo limite calculado, já as amostras congeladas a -4°C tiveram 89% de precisão, pois 11% das amostras ficaram fora desse intervalo (Figura 5).

Em relação as amostras armazenadas sob congelamento, das 11 que ficaram fora do intervalo de confiança 8 fizeram parte da última análise, mostrando que para esse experimento foi confiável o armazenamento de até 58 dias. Para as amostras que permaneceram em temperatura ambiente a precisão foi mantida até o fim do experimento, com armazenamento de 142 dias (Figura 5).

Figura 5. Regressão linear dos dados correspondentes à primeira fase do experimento (experimento com réplicas da solução padrão), mostrando os resultados das amostras congeladas a -4°C e em temperatura ambiente.



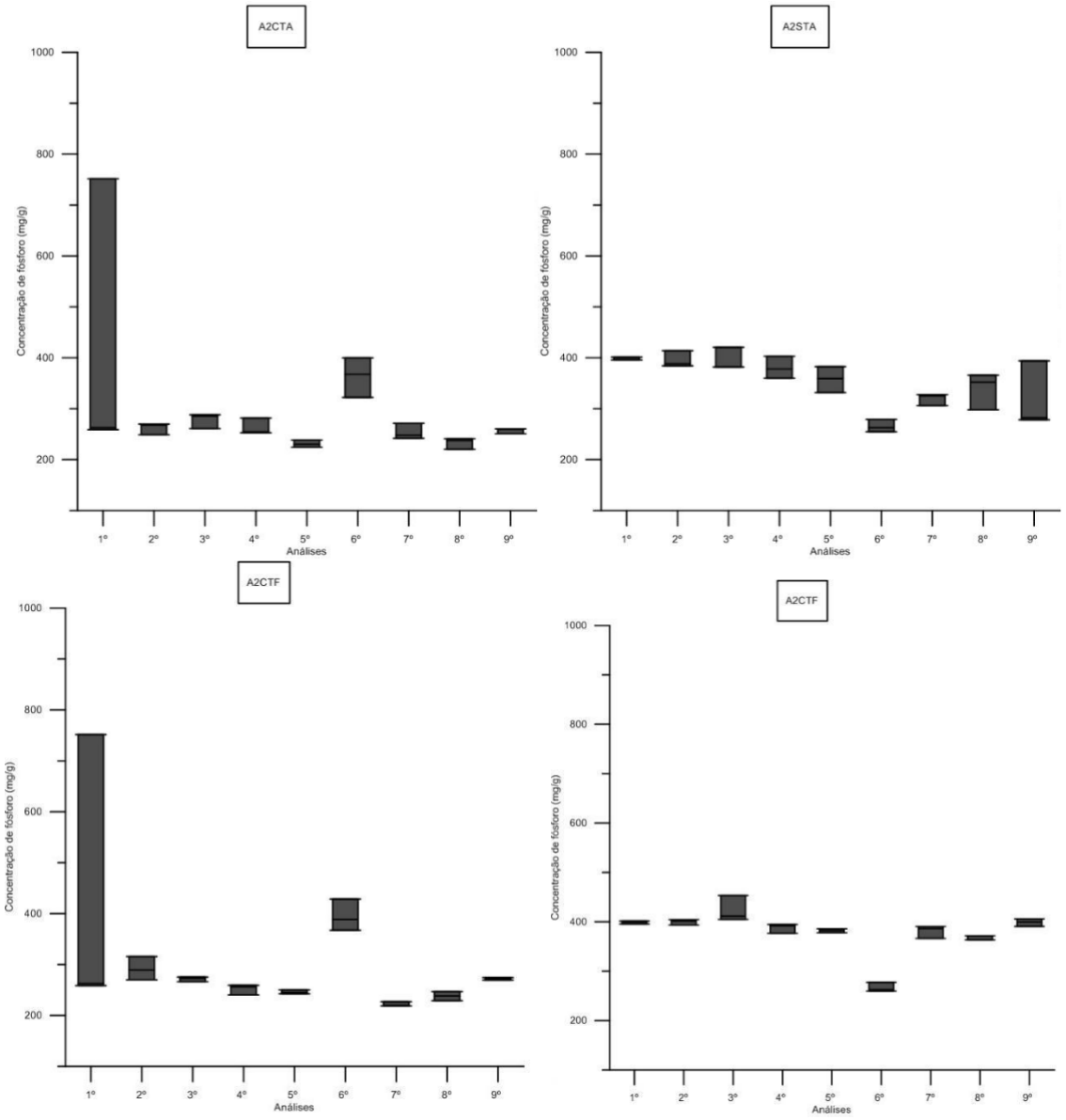
4.2 FASE 2

Os resultados da fase 2 estão apresentados na Tabela 3, onde estão exibidos os valores da amplitude, média e desvio padrão. Foi observado que as médias da concentração de fósforo das amostras congeladas variaram de 256,075mg.kg a 257,609mg.kg e nas amostras secas a variação ocorreu entre 366,55mg.kg a 388,945mg.kg (Tabela 3 e Figura 6).

Tabela 3. Dados de Máxima (Mx), Mínima (Mn), Média (M) e Desvio Padrão (DP) das análises realizadas com as amostras estuarinas seca, em temperatura ambiente (A2STA), Amostra montante, seca, freezer (-4°C)(A2STF), Amostra montante, congelada, em temperatura ambiente (A2CTA), Amostra montante, congelada, freezer a -4°C (A2CTF), Padrão em temperatura ambiente (PTA), Padrão armazenado do freezer a -4°C (PTF).

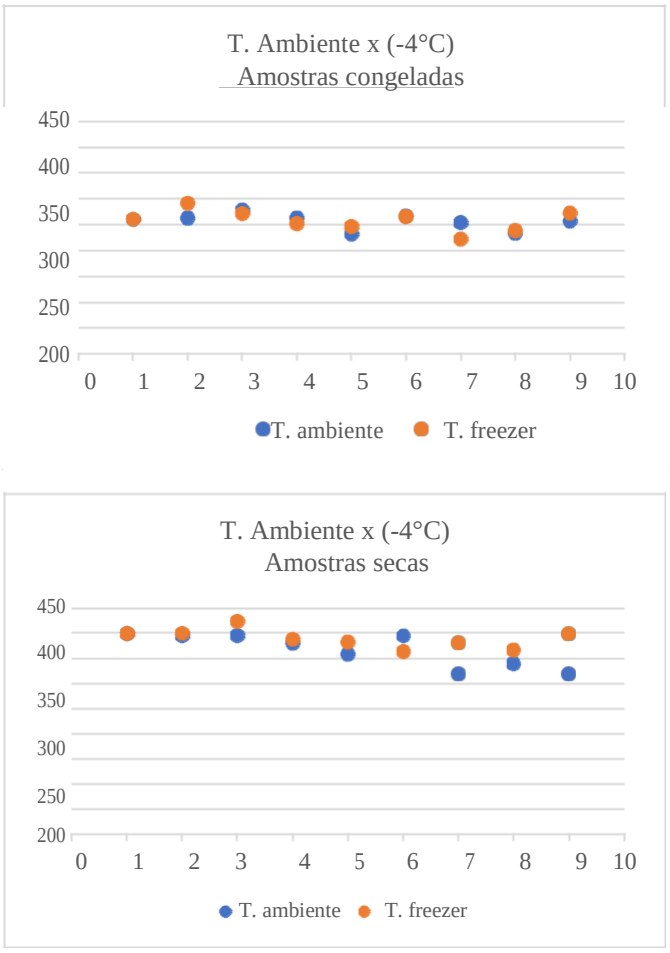
		1 DIA	2 DIAS	3 DIAS	4 DIAS	20 DIAS	35 DIAS	50 DIAS	81 DIAS	142 DIAS
DIAS										
LEITURAS		1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
PTA		1201,50	1169,25	1204,95	1203,10	1114,45	1185,50	1173,75	1142,83	1144,25
PTF		1201,50	1205,20	1192,60	1212,15	1110,50	1231,20	1183,66	1153,06	1192,55
A2CTA	MX	751,65	269,80	288,15	281,70	238,35	399,65	271,37	240,95	260,35
	MN	258,75	248,75	260,95	252,85	224,20	322,15	242,05	220,24	250,80
	M	424,38	262,13	278,07	263,03	230,93	363,12	253,82	232,89	256,85
	DP(±)	283,43	11,63	14,90	16,19	7,10	38,94	15,49	11,09	5,26
A2CTF	Mx	751,65	315,6	275,35	259,35	250,2	428,55	226,89	246,81	274,40
	Mn	258,75	269,75	266,25	240,30	242,55	367,15	218,80	228,89	269,50
	M	424,39	291,53	271,52	251,90	245,88	**394,70**	**221,71**	238,01	271,95
	DP(±)	283,43	23,01	4,72	10,18	3,92	31,18	4,50	8,96	2,45
A2STA	Mx	401,45	414,00	420,55	403,10	382,80	279,05	327,72	365,94	394,05
	Mn	395,65	384,20	381,90	359,75	331,55	254,80	306,20	297,85	278,20
	M	399,07	395,48	394,97	380,32	357,85	**265,48**	319,70	338,64	318,23
	DP(±)	3,035	16,16	22,15	21,76	25,65	12,38	11,76	35,99	65,69
A2STF	Mx	401,45	404,55	453,20	394,55	385,75	277,30	390,33	371,67	405,95
	Mn	395,65	393,60	404,95	376,70	377,90	259,55	366,23	363,21	390,60
	M	399,07	399,72	**423,17**	387,63	381,95	266,45	380,96	366,21	398,68
	DP(±)	3,03	5,59	26,20	9,58	3,93	9,51	12,91	4,74	7,71

Figura 6. Média e Desvio Padrão das amostras congeladas para porção a montante do estuário. Congelada, em temperatura ambiente, Amostra montante, seca, em temperatura ambiente (A2STA), Amostra montante, seca, congelada (A2STF), Amostra montante, congelada, em temperatura ambiente (A2CTA), Amostra montante, congelada, freezer a -4°C (A2CTF).



Quando comparamos as médias das concentrações do fósforo com a relação à variável armazenamento (temperatura ambiente e temperatura a -4°C), observou-se que as amostras armazenadas congeladas não apresentaram variações relevantes de concentrações que as armazenadas à temperatura ambiente. Ou seja, a variável armazenamento não influenciou nas concentrações das amostras. Conforme ilustrado na Figura 7.

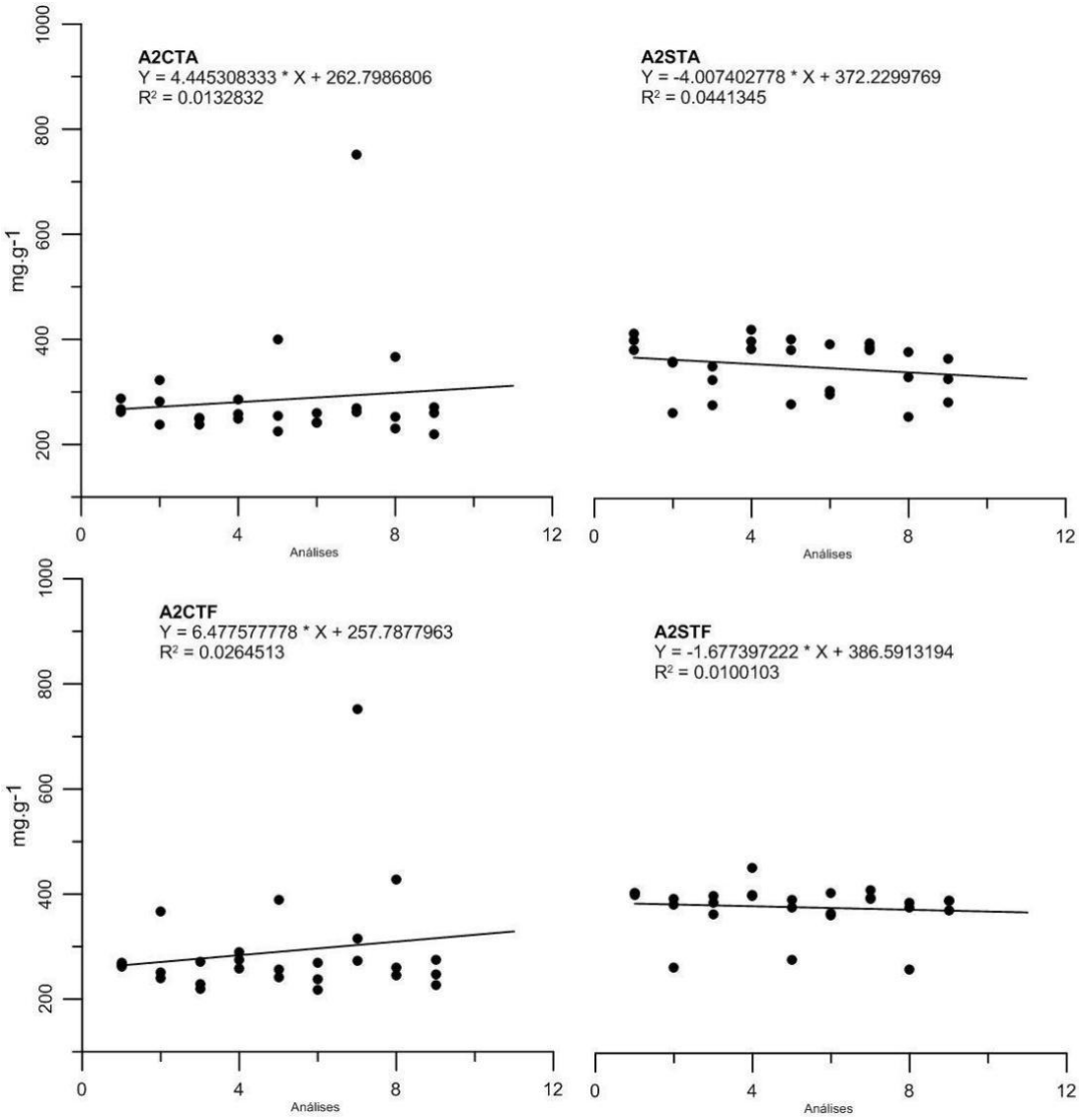
Figura 7. Interpolação dos dados de Temperatura ambiente e a -4°C, das amostras congeladas e secas.



Ao analisar os resultados obtidos em relação à variável tratamento inicial do sedimento, ou seja, secos em estufa e congelados imediatamente ao chegar do campo, foi observado que os extratos das amostras do sedimento seco apresentaram uma maior concentração de fósforo ao ser comparado com o extrato do sedimento congelado (Figura 8).

Com relação aos dias em que se pode armazenar o extrato para uma leitura segura, a precisão das amostras mostrou que até o ultimo dia de análise do experimento os dados apresentaram estabilidade, ou seja, não ocorreu variação considerável na concentração de fósforo (Figura 8).

Figura 8. Regressão linear da Amostra 2. Amostra mais externa, congelada, em temperatura ambiente (A1CTA), Amostra mais externa, seca, em temperatura ambiente (A1STA), Amostra mais externa, congelada, freezer a - 4°C (A1CTF), Amostra mais externa, seca, em temperatura ambiente (A1STA).



5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

No geral, a regressão referente às amostras em temperatura ambiente apresentou melhores resultados para a primeira fase do experimento, o que foi confirmado com a precisão das análises (95% de confiança para este tratamento). Já as amostras congeladas tiveram 89% de precisão.

Ainda para a primeira fase a precisão mostrou que das amostras congeladas o grau de certeza se manteve até 58 dias do experimento, após isso, a amostra perde a precisão analítica. Para as amostras armazenadas em temperatura ambiente, a precisão foi mantida até o fim do experimento (142 dias) permanecendo dentro do limite de confiança.

Com relação à segunda fase do experimento, quanto à comparação entre as amostras congeladas e secas no dia em que foram coletadas, os extratos dos sedimentos secos obtiveram menos perda dos compostos fosforados.

Quanto à comparação entre temperatura ambiente e a -4ºC, a média obtida mostrou que não ocorreu diferença relevante.

Ainda na fase 2, quando se compararam os dias de leituras com a precisão das amostras do primeiro dia de análise (valor de referência) foi observado que as concentrações de fósforo não apresentaram grandes variações.

6 CONCLUSÃO

Com relação a durabilidade das amostras, para a primeira fase do experimento (análises com o padrão) foi concluído que as amostras apresentam melhor precisão em temperatura ambiente. Para a fase 2, realizada com sedimentos estuarinos, foi possível verificar menos perda dos compostos fosforados nas amostras secas, independente da temperatura de armazenamento.

Com relação aos dias de análises, foi observado que a estabilidade se manteve ao longo do período analisado, indicando assim que é confiável analisar as sub-amostras em até 142 dias após a extração.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, V.M.C.; BRAGA E.S. Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salility gradiente in a heavily pollued estuarine system of Santos-São Paulo,Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 54 (4): 464-471. 2007.

BURRUS, D.; THOMAS, R.L.; DOMINIK, J. VERNET, J.P. Seasonal delivery of the particulate forms of phosphorus to Lake Geneva form upper Rhone River. **Aquatic Science**, v. 52, p. 221–254, 1990.

CHANG, S.C. E; JACKSON, M.L. Fracionation of soil phosphorus. **Soil Science**. 84: 133-144. 1957.

GASPAR, F. L.; FLORES-MONTES, M.J.; NASCIMENTO-FILHO, G.A; LINS, I.C.; PAULO, J.G.; LONGO, P.F.A. Spatial and seasonal sediment phosphorus species and its relation with granulometry, organic matter and CaCO3 in a tropical estuary. **Journal of Coastal Research**, v. 2, p. 1134-1139, 2013.

HANSEN, A.M; MÁRQUEZ-PACHECO, H. Internal phosphorus load in a Mexican reservoir: Forecast and validation. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v34, ISS11. p2583-2589. 2015.

HAVENS, K.E., FUKUSHIMA, T., XIE, P., IWAKUMA, T., JAMES, R.T., TAKAMURA, N., HANAZATO, T., YAMAMOTO, T. Nutrient dynamics and the eutrophication of shallow lakes Kasumigaura (Japan), Donghu (PR China) and Okeechobee (USA). **Environmental Pollution** 111, 263 and 272; 2001

INSAIN, P.; JAKMUNEE, J. Flow injection amperometric detection and off-line sequential extraction column for fractionation of phosphorus in sediment. **Chiang Mai Journal of Science** 44(3):965-976. 2017.

KAISERLI, A.; VOUTSA, D.; SAMARA, C. Phosphorus fraction in Lake sediments - Lakes Volvi and Koronia. N. Greece. **Chemosphere**. v.46, p.1147-1155. 2002.

LUCOTTE, M. E ANGLEJAN, B.D. A comparation of several methods for the determination of iron hydroxides and associated orthophosphates in estuarine particulate matter. **Chemical Geology**. 48: 254-264. 1985.

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry**, 8 ed. Boca Raton: CRC Press, 816p. 2005.

MURPHY, I.; RILEY, S.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**. V.27, p.31-36. 1962.

PARDO, P.; RAURET, G.; LÓPEZ-SANCHEZ, J.F. Shortened screening method for phosphorus fractionation in sediments A complementary approach to the standards, measurements and testing harmonized protocol. **Analytica Chimica Acta**, v. 508, p 201-206. 2004.

VANDECASTEELE, B., DE VOSA, B., TACK, F.M.G. Heavy metal contents in surface soils along the Upper Scheldt River (Belgium) affected by historical upland disposal of dredged materials. **Science total environment**, 290(1-3):1-14. 2002.

RAO, J.L.; BERNER, R.A. Time variations of phosphorus and sources of sediments beneath the Chang Jiang (Yangtze River). **Marine Geology**, v139, p 95-108. 1997.

RAO, J.L.; BERNER, R.A. Time varioations of phosphorus and sources of sediments beneath the Chang Jiang (Yangtze River). **Marine Geology**, v. 139, p. 95-108, 1997.

REDDY, K.R.; KADLEC, R.H.; FLAIG, E.; GALE., P.M. Phosphorus retention in streams and wetlands: A review. **Critical Reviews in Environmental Science and Techonology**, v. 29, p. 83-146, 1999.

RUBAN, V.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J.F.; PARDO, P.; RAURET, G.; MUNTAU, H.; A QUEVAUVILLER, P. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments – A synthesis of recent works. **Fresenius J. Anal. Chem**., 370: 224–228. 2001.

RUTTENBERG, K. C. E M; GOÑI, A. Phosphorus Distribuition, C: N:P Ratios, and $\delta^{13}C$ in Arctic, T emperasand Tropical Coastal Sediments: Tolls for Characterizing Bulk Sedimentary Organic Matter. **Marine Geology**, vol. 139, -1/4. P. 123-145. 1997.

RUTTENBERG, K.C. Development of a sequencial extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. **Limnology and Oceanography**. 37 (7): 1460-1482. 1992.

WANG, C.; ZHANG, Y.; LI, H.; MORRISON, R.J. Sequential extraction procedures for the determination of phosphorus forms in sediment. **Limnology**,14:147–157, 2013.

WATANABE, F.S.; OLSEN, S.R. Test of ascorbic acid method for determination phosphorus in water an $NaHCO_3$ extracts from soil. **Soil Science Society Proceedings**, v.29, p. 677-678. 1965.

WESLEY, R. J.; POCKLINGTON, D.; WALKER, R. F. Analytical quality assurance: a review.
Analyst, v. 116, p. 975- 990, 1991.

WILLIANS, J. D.; JAQUET, J.M.; THOMAS, R. L. Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie. **Bulletin of Fisheries Research Board**. Canada. 33: 413-429. 1976.

ZHANG, R.; WU, F.; LIU, C.; FU, P.; LI, W.; WANG, L.; LIAO, H.; GUI, J. Characteristics of
organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Planteau, China. **Environmental Pollution**, 152, 366-372. 2008.

ZHANG, X.; WU, S.; CAO, W.; GUAN, J.; WANG, Z. Dependence of the sediment delivery ratio on scale and its fractal characteristics. **International Journal of Sediment Research**, 30(4), 338– 343. 2015.

ZHANG, Z.F.; CHEN, X.P. Research progress on stability analysis of embankment under effects of river scouring. **Advances in Science and Technology of Water Resources**, 29(4), 84–89. 2009.