



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

ANA GABRIELA PINTO PEREIRA DE VASCONCELOS

**GEOQUÍMICA SAZONAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR DOS ESTUÁRIOS IPOJUCA
E MASSANGANA, COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE**

Recife

2019

ANA GABRIELA PINTO PEREIRA DE VASCONCELOS

**GEOQUÍMICA SAZONAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR DOS ESTUÁRIOS IPOJUCA
E MASSANGANA, COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

V331g Vasconcelos, Ana Gabriela Pinto Pereira de.
Geoquímica sazonal do fósforo sedimentar dos estuários Ipojuca e Massangana, complexo industrial portuário de Suape - PE / Ana Gabriela Pinto Pereira de Vasconcelos. - 2019.
89 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.
Inclui Referências e anexos.

1. Oceanografia. 2. Fósforo sedimentar. 3. Impacto ambiental. 4. Porto de Suape. 5. Geoquímica estuarina. I. Barcellos, Roberto Lima (Orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-219

ANA GABRIELA PINTO PEREIRA DE VASCONCELOS

**GEOQUÍMICA SAZONAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR DOS ESTUÁRIOS IPOJUCA
E MASSANGANA, COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE – PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Aprovada em: 19/09/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Vicente Ferreira Júnior (Examinador interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes (Examinador interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Antônio Barbosa (Suplente)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo (Suplente)

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais Zé Cláudio (*in memorian*) e Regina, que sempre priorizaram uma educação de qualidade mesmo em tempos difíceis. Às minhas avós Marly e Ana que sempre me apoiaram e sabem o significado dos frutos desse mestrado pra mim. Também agradeço aos demais familiares que compreendem minha carreira e a busca pelo conhecimento, que nunca é demais.

À minha companheira, amiga e esposa, Isabela. A pessoa que esteve ao meu lado em todos os momentos dessa dura caminhada. De revisora de textos à provedora de lanchinhos, paciente como uma monge para meus apanhos e sempre tirando de letra os momentos de nuvem densa, meu muito obrigada! Também gostaria de agradecer à Lua, minha cadela anciã que me ensina muito com seu olhar sereno e conversador. Não me deixa sozinha nas madrugadas, sendo corpo acolhedor nos momentos de tristeza.

Agradeço de coração, à toda equipe do Docean; aos porteiros e seguranças que olharam por mim durante as longas horas de triagem, onde muitas vezes saía a noite do departamento. Aos funcionários da limpeza, que provavelmente devem ter o Labogeo como o laboratório mais cheio de areia de todo departamento e apesar disso, sempre mantiveram um ambiente agradável para o trabalho. À Dona Edileuza pelos seus cafés doces como ela e abraços aconchegantes. Técnicos administrativos e dos laboratórios, em especial, a Jamerson do Loquim, que tornou a triagem do fósforo um momento mais fácil com seu acompanhamento. Pessoa curiosa e disposta, exemplo de profissional. Luciana! Ela merecia uma página inteira pela excelente pessoa que é, pesquisadora dedicada. Sempre ajuda a todos do departamento e se mostrou uma pessoa amiga ao longo desses anos, meu muito obrigada! Taiana, Thaís, Cris, Davi e demais companheiros de laboratório pela jornada conjunta. Ao pessoal da especialização e da entrada de 2018; que se mostraram solícitos com as dúvidas e troca de ideias, mantendo vivo em meio a tanto retrocesso, o real sentido da ciência. Aos pesquisadores que contribuíram para esse trabalho: Brenno, Keila, Josi, na triagem do fósforo; Nykon nas análises estatísticas, Emarielle e Diego pelas elucidações metodológicas e elaboração dos mapas.

Aos professores do departamento, alguns me acompanham desde a especialização e é um prazer poder conviver com eles e fazer parte da engrenagem que mantém a ciência viva. Professor Manuel pela parceria e concessão dos equipamentos do Loquim para triagem do fósforo. Agradeço

também ao meu orientador Roberto Barcellos. Não teria feito o mestrado se ele não tivesse me encorajado com o projeto, meu muito obrigada.

Por fim, agradeço ao projeto que possibilitou o provimento econômico necessário para a viabilização deste trabalho, enquadrado na pesquisa: FACEPE nº APQ-0260-1.08/15, do edital FACEPE 20/2014, nomeado: Sedimentação Holocênica na Região de Influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE) (SUAPE-GEOSUB). À CAPES pela concessão da bolsa e ao CNPq.

Que os órgãos de fomento à ciência se mantenham firmes e possam continuar financiando pesquisas para o desenvolvimento deste país.

RESUMO

O estudo quantitativo e qualitativo do fósforo sedimentar em estuários, é um recurso vantajoso para investigação da origem deste nutriente, podendo ser natural ou antrópico. Este trabalho foi formulado com objetivo de desenvolver um padrão espacial / temporal de fósforo sedimentar total, orgânico e inorgânico no sistema estuarino do complexo portuário industrial de Suape, PE – Brasil. O estudo realizou um acompanhamento sazonal em 2017 (período seco e período chuvoso) dos estuários de Massangana/Suape e Ipojuca, no intuito de caracterizar as mudanças ambientais da dinâmica sedimentar atual. Foram coletadas 42 amostras sazonais, 26 em Ipojuca (março e agosto) e 16 em Suape (março e julho). Associados ao fósforo, foram analisados os componentes geoquímicos CaCO_3 e Matéria orgânica total, aliados a outros parâmetros como profundidade, hidrodinâmica, granulometria e razões isotópicas para interpretação dos dados. O fósforo foi analisado pela metodologia de Williams et al. (1976), modificada, descrita por Pardo et al. (2004); CaCO_3 e MOT por Sugio (1973). Os resultados foram submetidos à análise estatística de PCA/PCO e PERMANOVA. Em Suape, ambos os períodos foram mais influenciados pelos componentes CaCO_3 , matéria orgânica total e profundidade. Os teores dos três tipos de fósforo, entretanto, estão mais associados ao estuário de Ipojuca, também em ambas as estações. As razões C/P indicaram predominância terrígena para a origem da matéria orgânica (>50% das amostras). Para período x estuário, o período sazonal mostrou diferença significativa entre: período seco x chuvoso - Ipojuca x Suape. Cruzando os dados do período seco de Suape x chuvoso de Suape, não houve diferença sazonal significativa, mas houve entre Ipojuca x Ipojuca. Os maiores valores apresentaram associações ao período chuvoso e estuário de Ipojuca, com seus teores máximos de fósforo inorgânico, orgânico e total: 1,29; 0,78 e 1,38 mg/g, respectivamente, além dos sedimentos finos correlacionarem-se significativamente com maiores teores de fósforo. Este importante nutriente se encontra para estes estuários, dentro dos valores estipulados pelo CONAMA (>2 mg/g), porém, alguns pontos próximos ao porto e no alto estuário do Ipojuca precisam ser melhor monitorados para prevenção de possível contaminação.

Palavras-chave: Fósforo sedimentar. Impacto ambiental. Porto de Suape. Geoquímica estuarina.

ABSTRACT

The quantitative and qualitative study of sedimentary phosphorus in estuaries is an advantageous resource to investigate the origin of this nutrient, either natural or anthropic. This project was formulated aiming to develop a spatial/temporal pattern of total, organic and inorganic sedimentary phosphorus in the estuarine system of the Suape industrial port complex, PE – Brazil. The study took a seasonal monitoring approach in 2017 (dry and rainy season) of the Massangana/Suape and Ipojuca estuaries, in order to characterize the environmental changes of the current sedimentary dynamics. Forty-two seasonal samples were collected, 26 in Ipojuca (March and August) and 16 in Suape (March and July). The geochemical components CaCO_3 and total organic matter were analyzed in association with phosphorus. Also, other parameters such as depth, hydrodynamics, particle size and isotopic ratios were used for data interpretation. Phosphorus analyzes were made by the methodology of Williams et al. (1976), modified and described by Pardo et al. (2004); CaCO_3 and MOT by Suguio (1973). The results were submitted to statistical analysis of PCA/PCO and PERMANOVA. In Suape, both periods had more influence in CaCO_3 components, total, organic matter and depth. The levels of the three types of phosphorus, however, are more associated with the Ipojuca estuary, also in both seasons. The C / P ratios indicated terrestrial predominance for the origin of organic matter (>50% of the samples). For period x estuary, the seasonal period showed significant difference between: dry x rainy period – Ipojuca x Suape. Crossing data from Suape x Suape in the dry period there was no significant seasonal difference, but there was between Ipojuca x Ipojuca. The higher values were observed in the winter and Ipojuca area, with its maximum inorganic, organic and total phosphorus contents: 1,29; 0,78 and 1,38 mg/g respectively and its fine grain size sediments significantly correlated with higher phosphorus contents. This important nutrient is within the values set by CONAMA (> 2mg / g), however, some points near the port and the upper Ipojuca estuary need to be better monitored to prevent possible contamination.

Keywords: Sedimentary phosphorus. Environmental impact. Suape Harbour. Estuarine geochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo.....	20
Figura 2 - Bacia Pernambuco.....	22
Figura 3 - Istmo de Cocaia e ilha de Cocaia, antes e depois das alterações para implantação do Porto de Suape.....	25
Figura 4 - Indústrias na área de influência do complexo e rodovias.....	26
Figura 5 - Diferença de vegetação entre os anos 1989, 1999 e 2010.....	29
Figura 6 - Área de estudo e localização das estações de coleta.....	34
Figura 7 - Procedimento de extração de Fósforo Total.....	36
Figura 8 - Balanço hídrico entre os meses inter-coletas e médias históricas.....	38
Figura 9 - Batimetria da Baía estuarina do rio Massangana/Suape.....	39
Figura 10 - Batimetria do baixo estuário do rio Ipojuca.....	40
Figura 11 - Diagrama de fácies texturais de Shepard (1954).....	41
Figura 12 - Diagrama de fácies texturais de Shepard (1954) do estuário do rio Ipojuca no período chuvoso (ago. 17).....	42
Figura 13 - Diagrama hidrodinâmico de Perjup (1954) do estuário do rio Massangana e Baía de Suape no período chuvoso (jul. 17).....	43
Figura 14 - Diagrama de hidrodinâmico de Perjup (1954) do estuário do rio Ipojuca no período chuvoso (ago. 17).....	44
Figura 15 - Mapas de distribuição espacial do diâmetro médio (A) e grau de seleção (B) (período chuvoso 2017), segundo os parâmetros de Folk and Ward (1957).....	44
Figura 16 - Frações granulométricas no período chuvoso (jul./ago.2017).....	47
Figura 17 - Distribuição espacial dos teores de carbonato de Cálcio (CaCO_3) (A, B) e Matéria Orgânica Total (MOT) (C, D), período seco e chuvoso de 2017, respectivamente...49	
Figura 18 - Distribuição espacial dos teores de Fósforo Inorgânico (A, B) e Fósforo Orgânico (C, D), no período seco e chuvoso de 2017, respectivamente.....	50
Figura 19 - Distribuição espacial dos teores de Fósforo Total (A, B) e %Fósforo Orgânico x Fósforo Total (C, D), período seco e chuvoso de 2017, respectivamente.....	52
Figura 20 - Distribuição espacial dos valores das razões C/P (A) e N/P (B), no período seco de 2017, respectivamente.....	55

Figura 21 - Gráfico de PCO entre fatores estuário e sazonalidade.....	57
Figura 22 - Gráfico de PCO da distribuição sedimentológica espacial.....	58
Figura 23 - Amostra de sedimentos superficiais coletados em 23/07/2017 (GeoSub XIII) na estação de coleta ST09 (à esq.), adjacente ao efluente do estaleiro Vard-Promar (à direita).....	62
Figura 24 - Amostra de sedimentos superficiais coletados em 29/08/2017 (GeoSub XIV) na estação de coleta ST19, adjacente aos resorts de Muro Alto.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias mensais entre os anos de 1999 e 2017.....	37
Tabela 2 - Classificação de fácies texturais das amostras do estuário de Suape.....	41
Tabela 3 - Classificação de fácies texturais das amostras do estuário de Ipojuca.....	42
Tabela 4 - Interpretação da razão C/P.....	54
Tabela 5 - Tabela de Resultados da análise PERMANOVA.....	57
Tabela 6 - Correlação linear de Pearson (r) sazonal.....	59
Tabela 7 - Correlação linear de Pearson (r) espacial.....	59
Tabela 8 - Concentração de fósforo sedimentar em outros estuários no mundo.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
C	Carbono
CIPS	Complexo Industrial Portuário de Suape
COT	Carbono orgânico total
CPRM	Companhia de pesquisa de recursos minerais
ENSO	El Niño South Oscillation
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
N	Nitrogênio
MOS	Matéria orgânica sedimentar
MOT	Matéria orgânica total
P	Fósforo
PE	Pernambuco
PI	Fósforo inorgânico
PO	Fósforo orgânico
PO ₄ ³	Fosfato
PP	Produtividade primária
PT	Fósforo total
SMT	Standarts, Measurements and Testing (SMT) Programing

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	CICLO DO FÓSFORO E SEU ESTADO SEDIMENTAR COMO PARÂMETRO AMBIENTAL.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
2	OBJETIVO.....	19
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	19
2.2	HIPÓTESE	19
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.1	GEOLOGIA.....	21
3.2	GEOMORFOLOGIA.....	23
3.3	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	24
3.4	VEGETAÇÃO.....	27
3.5	HIDROGRAFIA.....	30
3.6.1	Hidrodinâmica.....	30
3.6.2	Rede hidrográfica rio Ipojuca.....	31
3.6.3	Rede hidrográfica rio massangana.....	32
4	METODOLOGIA.....	33
4.1.1	Dados sedimentológicos.....	35
4.1.2	Fósforo inorgânico, total e orgânico.....	35
4.1.3	Descrição e tratamento estatístico.....	36
5	RESULTADOS	37
5.1	PLUVIOMETRIA.....	37
5.2.1	Batimetria estuário de Suape.....	38
5.2.2	Batimetria estuário do Ipojuca.....	39
5.3.1	Diagrama triangular de Shepard (1954).....	40
5.3.2	Diagrama triangular de Perjup (1988).....	43
5.3.3	Diâmetro médio e Grau de Seleção (Folk & Ward, 1957).....	44
5.3.4	Distribuição dos teores de Cascalho, areia, silte e argila.....	45
5.4	GEOQUÍMICA.....	47

5.4.1	Teores de carbonato de cálcio (CaCO ₃) e matéria orgânica total (MOT).....	47
5.4.2	Teores de Fósforo Orgânico (PO) e Fósforo Inorgânico (PI).....	49
5.4.3	Teores de Fósforo Total (PT) e percentual de PO em relação ao PT (%PO x PT)....	52
5.4.4	Razões elementares C/P e N/P no período seco de 2017 (Indicativas de Origem da Matéria Orgânica e Limite da Produtividade).....	54
5.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	56
6	DISCUSSÃO.....	60
6.1	SEDIMENTOLOGIA E GEOQUÍMICA.....	60
6.2	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR.....	64
6.3	REGIME HÍDRICO E EVENTOS DE OSCILAÇÃO NO PERÍODO INTERCOLETAS.....	68
6.4	RAZÕES C/P E N/P e o FÓSFORO SEDIMENTAR COMO INDICATIVO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	69
6.5	COMPARAÇÃO DO FÓSFORO SEDIMENTAR EM SUAPE/IPOJUCA COM OUTROS SISTEMAS ESTUARINOS E COSTEIROS MUNDIAIS.....	71
7	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS.....	76
	ANEXO A - TABELA PERÍODO CHUVOSO SUAPE (JULHO, 2017) E IPOJUCA (AGOSTO, 2017).....	89
	ANEXO B - TABELA PERÍODO SECO SUAPE E IPOJUCA (MARÇO, 2017)....	90

1 INTRODUÇÃO

A importância do manejo na zona costeira brasileira se justifica tanto pela complexa rede de ecossistemas que abarca sua biodiversidade, quanto por proveitos econômicos conflituosos proveniente de uma expansão urbana desarmoniosa (MMA, 2016).

Das feições costeiras, o estuário tem destaque no âmbito da área de estudo, pois é o local que faz comunicação com o oceano através de uma desembocadura aberta do rio, onde são depositados na área dinâmica do ambiente, tanto sedimentos de origem marinha, quanto fluvial (JATOBÁ *et al.*, 2008; BAPTISTA NETO, 2004). O sedimento no assoalho marinho atua como depósito para dados ecológicos. Através da análise de fatores biológicos, físicos e químicos remonta-se acontecimentos, possibilitando caracterizar o sistema pedológico como originário ou sumidouro de poluentes e monitorar a reação ao seu poder depurativo natural ou induzido (MALLEY *et al.*, 2000).

Quando a inserção de portos ocorre nessas áreas, há grande possibilidade de prejudicar a qualidade da água e os ecossistemas marinhos nela presentes, devido ao acesso de contaminantes químicos e assentamento dessas substâncias no sedimento. Com os processos de dragagens, comuns ao assoalho adjacente a essas instalações, acontece a ressuspensão desses compostos tóxicos, fazendo-os presentes na coluna d'água, estando estes, sujeitos aos processos geofísicos e geomorfológicos ao longo do ecossistema.

Além das consequências da construção e funcionamento de portos em estuários, o ambiente estuarino em si, naturalmente transporta e acumula sedimentos devido a condicionantes como: ventos, ondas, marés e a descarga de água doce fluvial, que propiciam diferentes gradientes de densidade e são fundamentais à circulação no estuário. Analisados em escala geológica, são ambientes momentâneos; visto que se formam pelo afogamento da linha de costa em detrimento da elevação relativa do nível do mar. Sua hidrodinâmica contribui para a retenção de sedimentos provenientes do rio, dispersando pouco material sedimentar em sentido à plataforma, o que demonstra a relevância do estudo desse ecossistema devido a relação de resistência à tais processos (SILVA *et al.*, 2004; BARROS *et al.*, 2015).

Muitos compostos orgânicos sedimentares se sujeitam à modificações diagenéticas em consequência das ações de microrganismos. Apesar disso, diversos autores utilizam informações de compostos orgânicos isoladamente de sedimentos (ALEXANDRE *et al.* 2006). O fósforo sedimentar, neste sentido, pode ser denominado como um “biomarcador geoquímico”. Serve para

indicar, por exemplo, o quão eutrofizado um ecossistema se encontra, afetando um ambiente estuarino/portuário com despejo indevido de efluentes domésticos e industriais e/ou hidrocarbonetos.

A investigação dos elementos limitantes nitrogênio e fósforo, são essenciais para compreender os ciclos de outros nutrientes fundamentais, tanto para localizar distúrbios antrópicos, quanto pra compreender como esse processo acontece ao longo de períodos. Isso se deve ao fato de que a composição química do ambiente limnológico, a distribuição da fauna e flora, e as propriedades geoquímicas do fundo são influenciadas pela produção, fornecimento e decomposição da matéria orgânica tanto na água quanto no sedimento (MALLEY et al. 2000).

Os estuários em estudo fazem parte do complexo estuarino portuário de Suape – CIPS, formados pelos rios Ipojuca, Merepe, Massangana e Tatuoca. Segundo Santos et al. (2016), os 18 km² de superfície do rio Tatuoca eram destinados ao cultivo de cana de açúcar, sendo utilizados defensivos agrícolas de forma indiscriminada. Além disso, queimadas para manejo do cultivo e controle de pragas também geram resíduos que lixiviados, acabam chegando ao estuário de forma indevida, contribuindo para a contaminação da área.

1.1 CICLO DO FÓSFORO E SEU ESTADO SEDIMENTAR COMO PARÂMETRO AMBIENTAL

O nitrogênio (N), e o fósforo (P), são macronutrientes essenciais para a vida. Depois do N, o P é o nutriente que mais limita a maioria das plantas terrestres em seu crescimento. Ele pode estar disponível no solo em sua forma orgânica e inorgânica, formando cerca de 0,2 a 0,5% da biomassa vegetal. O P orgânico somente é absorvido depois de mineralizado, já o inorgânico é encontrado na forma insolúvel em apatitas, fosfato de ferro e alumínio e na forma solúvel em fosfatos de cálcio, potássio e magnésio (RAGHTOTJAMA, 1999; SCHACHTMAN et al., 1998).

O fósforo que é transportado pelas águas fluviais sofre diversos processos ao passar pelo estuário. Ele tem sua disponibilidade biológica e seu fluxo alterado até o oceano e áreas costeiras (SANTOS et al., 2010). A mistura da água estuarina forma características peculiares àquele ambiente, onde processos físicos-químicos-biológicos modificam a disponibilidade e consequentemente o processo de adsorção do fosfato inorgânico no sedimento.

Segundo Delaney (1998), as fontes fluviais são as principais transportadoras de fósforo para o meio marinho e a quantidade do fósforo inorgânico transportado varia em cerca de 3×10^{10} a

10×10^{10} mol/ano. Esse fósforo inorgânico, presente no embasamento rochoso e solo, não se encontra acessível de forma direta para os organismos. Ele se converte para ortofosfato dissolvido, através de reações geoquímicas e bioquímicas em diversas etapas, podendo assim ser incorporado (RUTTENBERG, 2003).

Por sua vez, o radical fosfato é fundamental para os sistemas biológicos, pois armazena energia em moléculas de ATP, convertendo-a para formação da matéria orgânica. Integra os nutrientes essenciais à vida com um ciclo biogeoquímico peculiar, e requer maior consideração nos sistemas estuarinos referentes aos graus de emissão antrópica (BERBEL, 2008).

A ciclagem do fósforo tem seu princípio no intemperismo de minerais fosfatados oriundos das rochas do continente, assim como nas fontes provenientes da ação antrópica, como a lixiviação do fósforo usado nos solos cultivados e a emissão de esgotos industriais e domésticos (BARCELLOS et al., 2005).

A produtividade total em algumas comunidades biológicas limnéticas é limitada pela concentração de fósforo disponível e vários processos geoquímicos estão envolvidos na regulação de sua disponibilidade no ciclo de nutrientes. Um desses processos essenciais no meio aquático é a incorporação do fósforo na fase sedimentar, por mecanismos de sorção ou pela formação de minerais de fosfato inorgânicos insolúveis (STROM & BIGGS, 1982).

Nas condições ideais, a adsorção do fósforo ao sedimento ocorre pela ação dos íons de ferro Fe^{3+} e Ca^{2+} , matéria orgânica ou partículas de argilominerais, que detêm o importante papel de reter agentes químicos poluentes. Os argilominerais contêm propriedades do potencial redox e pH como principais fatores responsáveis pela adsorção ou dessorção do fosfato. A constituição desse argilomineral designa o maior ou menor potencial de reter elementos químicos em sua conformação cristalina, sendo um importante elemento para o controle de contaminantes no meio (ALONGI, 1997; BARROS et al. 2009).

O fósforo como nutriente limitante da produtividade em águas continentais, pode mudar a atividade primária no ecossistema estuarino, pois a disposição do fósforo em suas variadas formas no estuário é regulada por dinâmicas particulares de cada ambiente e por essa característica, está entre os elementos mais importantes para a vida dos organismos (ESTEVES, 1998).

Devido à sua importância biogênica, o elemento possui ciclo diretamente relacionado a outros elementos bioativos como o carbono, oxigênio e nitrogênio. Seu comportamento também relaciona sua litologia à origem das fosforitas e por ser estudado em paleoceanografia, também é utilizado como indicador de alterações climáticas, além de ser importante agente ecológico no

processo de eutrofização, se caracterizando como um eficaz medidor ambiental (BATURIN, 2003).

De acordo com Redfield et al. (1963), a média da composição química dos organismos marinhos, levando-se em consideração o plâncton, tende em grandes áreas do mar para as proporções atômicas elementares constantes C: 106 N: 16 P: 1.

Através dela, pode-se estimar como outro parâmetro a razão C/P. Redfield et al. (1963, apud Ruttenberg & Goñi, 1997) explicam que é utilizada como parâmetro de investigação da origem do material analisado, onde as principais fontes de matéria orgânica no sedimento são derivadas de plantas marinhas ou terrestres. Entretanto, são plantas com razão molar distintas, a exemplo o fitoplâncton marinho, que tem 106:1 de razão molar média C/P.

Ruttenberg & Goñi (1997) propõem classificar sedimentos costeiros, de onde são marcados por misturas de fitodentritos tanto marinhos quanto terrestres, pelo valor da razão C/P. Se ela se encontrar acima da razão de Redfield (>106), então deverá ser proveniente de material enriquecido com matéria orgânica de origem terrígena. Já quando os valores se aproximam mais dessa razão, aponta uma origem marinha mais influente. As plantas superiores possuem menor teor de fósforo, com razões C/P que variam de 300 a 1300 para tecidos vegetais moles e acima de 1300 para tecidos duros. Razões mais baixas podem indicar origem microbiana, que variam na razão de 7 à 80. Segundo Pettijohn (1975), a concentração do fósforo estabelece relações em conformidade à sua granulometria, onde a argila absorve quatro vezes mais metal e matéria orgânica que a areia e duas vezes mais que o silte.

Em vista disso, o sedimento pode influenciar nos teores de O.D. nas águas próximas ao substrato, que pela sua capacidade de armazenar grande quantidade de matéria orgânica por processos como desnitrificação e o tamponamento do fósforo, modificam a produtividade primária (FONSECA, 2004). Ele consiste em um depósito de grande relevância na análise dos impactos que os ecossistemas estão ou estiveram submetidos, uma vez que fazem trocas de nutrientes e demais substâncias, poluentes ou não, com a coluna d'água (PROTAZIO, 2004).

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo nos estuários de Ipojuca, Massangana e seus tributários, tem grande significância devido à implantação do CIPS. Apesar de seu potencial econômico rentável para o estado de Pernambuco, trouxe consigo ações degradantes sobre o ecossistema no âmbito de sua construção, funcionamento e modificações dela resultantes.

Essas ações são decorrentes do crescimento da concentração urbana nas regiões costeiras, onde comumente observamos impactos ambientais refletidos nas zonas estuarinas, como: aumento no lançamento de efluentes domésticos, que com maior carga no despejo de detergentes e esgotos, são agentes diretos no acréscimo dos teores de fósforo sedimentar que podem vir a ser adsorvidos no estuário.

Também decorrem de ações que alteram o meio, os insumos agrícolas ou industriais e impactos que são observados na mudança da morfologia da bacia do estuário com finalidade de servir às necessidades humanas, como dragagens, aterros e retificações dos canais (SCHETTINI, 2000), prática comum em estuários que abrigam portos.

Barcellos (2014) destaca que o processo sedimentar atual sofre impacto por interferências decorrentes da ocupação e atividades humanas, que pode modificar as características ecológicas e ambientais originárias. Neste intuito surge a importância de compreender tal processo com enfoque na distribuição do fósforo, sua sazonalidade, e seu comportamento sedimentar sob a influência de descarga de efluente residual e industrial no estuário.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho visa determinar padrões de distribuição do fósforo sedimentar total, orgânico e inorgânico no CIPS (PE), apontando mudanças ambientais sazonais da dinâmica sedimentar atual.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar variações na distribuição sazonal do fósforo entre: Ipojuca x Ipojuca; Massangana x Massangana; Ipojuca x Massangana;
- b) Caracterizar a distribuição do fósforo nos sedimentos de fundo do estuário de forma espacial e sazonal sob suas diferentes frações;
- c) Visar um padrão de distribuição e sazonalidade do fósforo na área de influência do estuário;
- d) Investigar a origem da matéria orgânica por meio da razão elementar C/P para os sedimentos coletados.

2.3 HIPÓTESE

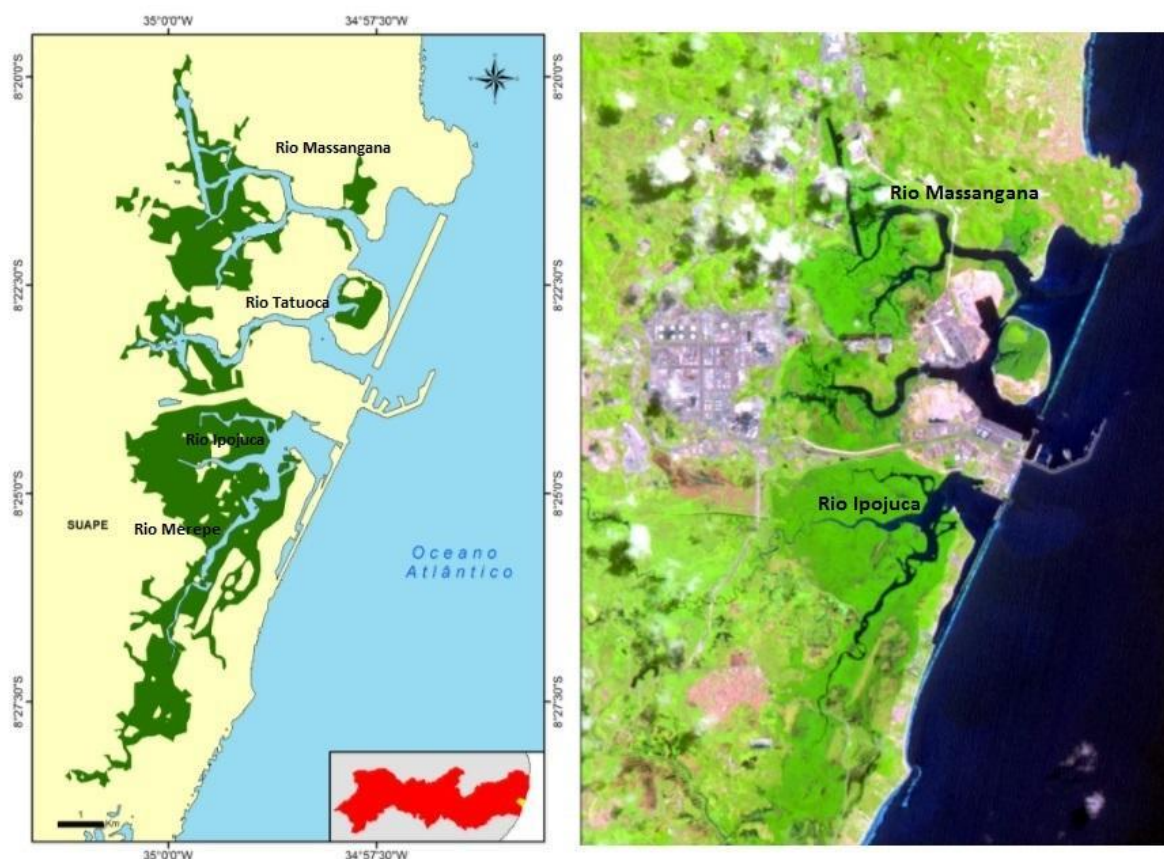
Podem ser tidas como hipótese as premissas de que:

- a) O período sazonal (chuvoso x seco) altera a concentração de fósforo sedimentar;
- b) Em estuários com maior densidade populacional e/ou atividades industriais-portuárias em seu entorno, ocorrerá consequente despejo de efluentes, que possivelmente acarretará em um aumento de concentração de fósforo adsorvido ao sedimento.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado nos estuários dos rios Ipojuca e Massangana e seus tributários, situado sob as coordenadas: (8° 20'00"S e 8°30'00"S; 34°55'00"W e 35°05'00" W), que fazem parte da área de influência do CIPS (Figura 1).

Figura 1 – Área de estudo



Fonte: Adaptado de Bioimpact (2019).

O Porto do CIPS está localizado no litoral sul do estado de Pernambuco (PE), com distância aproximada de 40 km de Recife, entre a foz dos rios Ipojuca e Massangana; desde o Cabo de Santo Agostinho até o Pontal do Cupe, totalizando uma área de 135 km² de infraestrutura (SUAPE, 2012). O sistema estuarino é formado por quatro rios: o rio Massangana, o rio Ipojuca, o rio Merepe e o rio Tatuoca, que têm a foz em duas grandes baías costeiras, Baía de Suape e Baía de Ipojuca.

Para fins de compreensão da área, compara-se os dois sistemas estuarinos, ao norte e ao sul do Porto, que foram separados artificialmente pela sua construção. Ao sul, o sistema será aqui

abordado como estuário de Ipojuca. Em contrapartida, o sistema ao norte será denominado de estuário de Suape, uma vez que a baía de mesmo nome está inserida no estudo. Esses sistemas têm como característica peculiar as suas desembocaduras em forma de baía, separada do oceano por um afloramento de recifes de arenitos onde no estuário de Ipojuca se dispõe paralelo à costa, o que a define como região marinha costeira. A área amostral é de aproximadamente 110 km² e em geral, possui baixa profundidade. Ambas as desembocaduras se comunicam com o oceano através de uma discreta abertura, ademais, os sistemas do CIPS se diferenciam de outros estuários comumente estudados, pois apresenta sua estrutura portuária-industrial, cuja construção justifica a atual conformação morfológica local (CONDEPE, 1983; ASSIS, 1999; SUAPE, 2012).

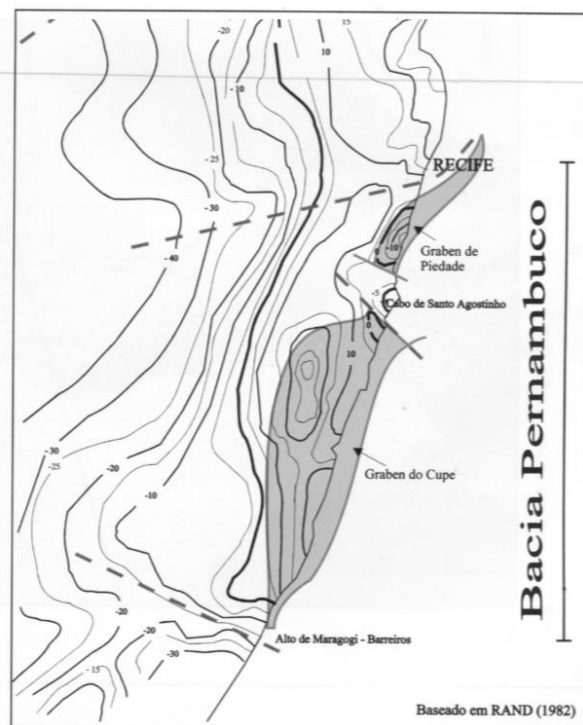
De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima é do tipo As' - caracterizado como clima tropical, com período de chuvas de inverno-outono e temperaturas acima de 20°C. Conforme dados do CPTEC/INPE (2019), a temperatura média local é de 26,4°C, sendo sua amplitude térmica em torno de 2,9°C. Também é possível afirmar, através da análise do banco de dados da APAC desde os anos 2000, que o regime pluviométrico na região apresenta altos índices com totais elevados de precipitação, chegando a quase 2000 mm anuais.

3.1 GEOLOGIA

De acordo com Lima Filho (1998), a região estudada pertence à Bacia Sedimentar Pernambuco. Ela é estabelecida entre o Lineamento Pernambuco – uma falha transcorrente no município do Recife que delimita a fronteira da bacia ao norte – e o município de São José da Coroa Grande ao sul, na divisa do estado de Alagoas. Sua delimitação fora da costa acontece na porção norte do platô Pernambuco, já seu limite oeste ocorre nas falhas normais do maciço Pernambuco/Alagoas.

A referida bacia engloba duas compartimentações formadas por rifteamento da porção costeira: Gráben de Piedade e do Cupe, formações mais interiores à plataforma. Elas são separadas pelo Alto do Cabo de Santo Agostinho, apresentada em parte mais externa, devido às intrusões de rochas vulcânicas proveniente da Suíte Ipojuca (Figura 2) (Lima Filho, 1998; Almeida et al., 2005). A área de estudo se encontra nesta última compartimentação, o Gráben do Cupe.

Figura 2 – Bacia Pernambuco



Fonte: Lima Filho (1998).

Esta bacia possui duas sub divisões que contêm informações sedimentológicas, geofísicas e estruturais, que são: Sub bacia norte; entre o lineamento de Pernambuco e o alto estrutural do Cabo de Santo Agostinho, onde verifica-se, em maior parte, extensiva sedimentação derivada do quaternário, além de sedimentos imaturos da formação Cabo, dentre eles, siltitos e argilitos, sedimentos vulcânicos da Suíte Ipojuca incluso o granito do Cabo de Santo Agostinho, pacote de arenitos em conglomerado do pós vulcânico, formação Algoduais e sedimentos clásticos da formação barreiras. Na sua porção da sub bacia sul, encontram-se: Formação Estiva com rochas carbonáticas, marcando de forma mais acentuada o processo de subsidência, o que enfatiza a presença do granito do Cabo de Santo Agostinho, uma vez que propiciou ingressões marinhas ao sul do estrutural. A retratação dessa área é pertinente pois descreve as formações rochosas que sofreram intemperismo pela ação marinha no decorrer do Quaternário, fonte de sedimentos predominante durante as elevações. Nas adjacências do Cabo de Santo Agostinho verificam-se rochas efusivas do Cretáceo (riolitos e basaltos), relacionadas ao granito calco-alcálico de Santo Agostinho (LIMA FILHO, 1998; DOMINGUEZ et al., 1990).

Em suma, Barros (2009) cita que a geologia da região de influência estuarina do CIPS é composta por rochas da Suíte Ipojuca (riolitos, traquitos e basaltos; do Complexo Belém do São

Francisco (embasamento cristalino das rochas metamórficas e rochas graníticas neoproterozoicas); da Formação Cabo (conglomerados, siltitos e arenitos carcoseanos); da Formação Estiva (calcários); Formação Barreira (argilitos, arenitos e conglomerados) e depósitos de sedimentos marinhos e transicionais derivados do quaternário. Barcellos et al. (2018), Oliveira et al. (2019) e Oliveira (2019) observaram que os sedimentos costeiros holocênicos da área são, em sua maioria, arenosos siliciclásticos, além de lamas arenosas.

3.2 GEOMORFOLOGIA

Quanto ao processo de confinamento de águas flúvio-marinhas e dinâmica sedimentar do estuário, fundamental para a compreensão deste trabalho, pode-se associar como a estrutura geomorfológica mais expressiva da área de estudo a presença de um extenso cordão de arenitos de praia.

Comum em várias praias do nordeste brasileiro, este cordão, se apresenta em forma de bancos areníticos com cimentação de origem calcífera e com grande presença de magnésio. Ocorre próximo à praia, onde aflora durante o período da baixa mar e com extensão em cerca de 18km, entre o promontório do Cabo de Santo Agostinho e praia do Cupe. Na porção externa à praia de Suape, o recife atinge de 25 a 50 metros de largura no topo, chegando a 200m na sua base, com espessura média de 3-4m (ASSIS, 1999; CONSULPLAN, 1989; CPRM, 1999). Na região do porto, a porção externa do recife possui maior isóbata, com -16m de profundidade, aumentando em direção a plataforma externa com alcance de 18m. Já no interior da baía de Suape encontram-se as menores profundidades, entre -2 a -5m (Fernandes, 2000; Barros, 2009).

Segundo Coutinho & Farias (1979, apud Ferreira Junior, 2011), a cimentação passa por quatro processos principais: percolação e litificação em locais com maior batimetria, incidência de calor e evaporação de água marinha, combinação de água doce e salgada, atividade metabólica bacteriana ou por algas.

Levando em consideração o relevo, de forma geral, o município do Cabo de Santo Agostinho apresenta duas conformações mais particulares: mais ao interior do município, relevo mamelonar com morros e colinas, com certo grau de declividade em alguns setores. A segunda feição é representada por um relevo mais baixo, semiplano, na porção leste do município, marcada pela planície flúvio-costeira, terraços e tabuleiros (CPRM, 1999). O município de Ipojuca compartilha da mesma feição geomorfológica, estando englobado na formação da bacia Cabo,

possui próximo a foz do rio Ipojuca, áreas com sedimentologia de areias mais finas, silte, argila e matéria orgânica (Santos et al., 2018); derivados do mangue presente às margens do estuário, com áreas de preservação periodicamente inundáveis.

Bittencourt et al. (1979), descreveu os terrenos esculpidos pela ação fluvial e marinha como relevos de agradação; planícies fluviais ou aluviais, terraços fluviais, meandros que foram fechados através de erosão e sedimentação por mudanças no canal do rio. Também associa outro grupo de feições às ações das condicionantes litorâneas, como áreas de baixios de maré nas áreas de mangues e também planície flúvio-lagunar com formação referente à regressão após o último evento de transgressão marinha.

Os terraços marinhos na costa de Suape-Ipojuca são de composição arenosa friáveis, de grande permeabilidade e passível de contaminação pelo seu baixo grau freático. As praias, em geral, são mais estreitas com baixa declividade e com forte ação de processos erosivos, evidenciados pela mudança da linha de costa. A deriva litorânea está sujeita à ação das ondas e marés, bem como pressão antrópica ocasionada pelos aterros nas ocupações irregulares do solo, alterando sua dinâmica natural (CPRM, 1999).

3.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A instalação do porto de Suape remete ao ano de 1978, trazendo impactos tanto para a comunidade pesqueira local, quanto aos ecossistemas marinhos e mata adjacente ao estuário. A implantação do CIPS atuou principalmente na supressão de mata nativa, alteração do padrão de circulação estuarina com dragagens, retificação nos canais e dinamitação de arenitos de praia (Figura 3), aterros para construção civil com supressão de mangue, despejo de efluentes industriais nos rios, introdução de espécies exóticas no estuário trazidas pelos navios, entre outras ações que modificaram a estrutura biótica e abiótica original local, exposto em dados anteriores à sua construção.

Figura 3 - Istmo de Cocaia e ilha de Cocaia, antes e depois das alterações para implantação do Porto de Suape



Fonte: Almeida (2003).

Imagem 1 –Istmo de Suape

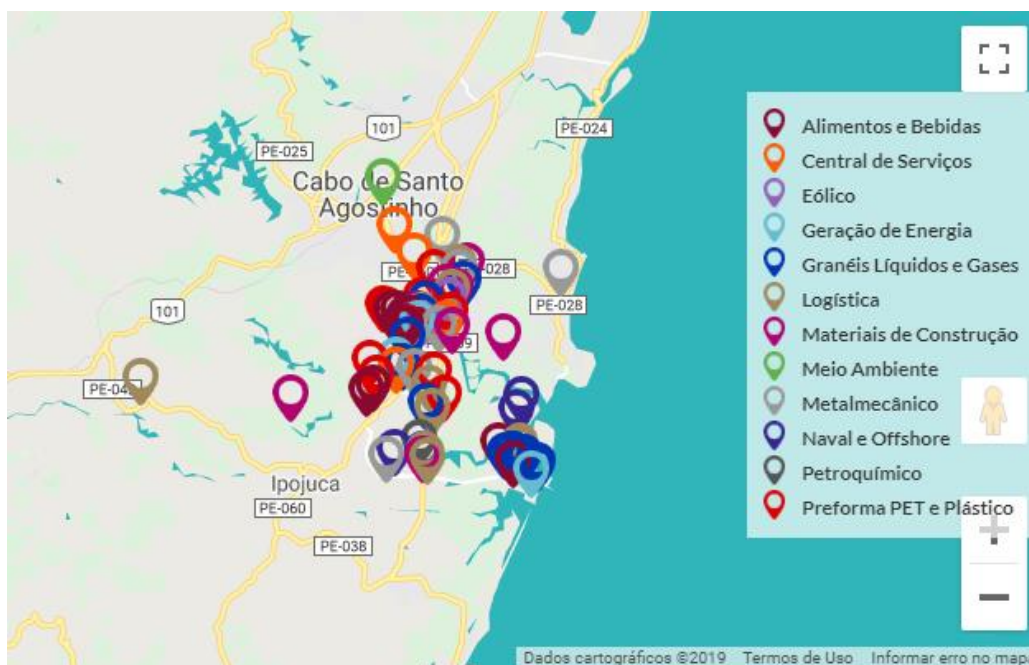


Fonte: O Globo (2013).

Imagem 2 – Suape atual. Foto de Hans Von Manteuffel.

Ao longo dessas quatro décadas, o porto vem aumentando sua capacidade de carga e conta com constantes expansões, o que abrange mais área de influência, uma vez que estimula e demanda uma estrutura industrial e residencial aos arredores de suas instalações (Figura 4). De acordo com o CPRH (2010), o cultivo de cana-de-açúcar (agroindústria), pecuária, policultura e zonas de proteção ambiental (áreas de mata atlântica e manguezal) são os aspectos de principal interesse na ocupação urbana e industrial das áreas de influência do CIPS, enquanto o uso da água dos rios é feito para o abastecimento da população, como também recebe efluentes domésticos, industriais e agroindustriais.

Figura 4 – Indústrias na área de influência do complexo e rodovias



Fonte: SUAPE (2019).

Dados do Conselho Pastoral de Pescadores - CPP (2016), mostram que desde 2006, cerca de 108 famílias de pescadores artesanais moram ou moravam na praia de Suape e ilha de Tatuoca. Estes sofrem conflitos socioambientais, onde destacam as atuações da especulação imobiliária e turística, a carcinicultura, indústrias petrolíferas, portuária, ademais outras empresas que intervêm nos conflitos de interesses da região. A organização cita que atuam privatizando terras públicas com despejo forçado, restringindo territórios pesqueiros e degradando o ambiente; como o despejo de efluente sem o devido manejo e danificação de apetrechos de pesca pelo material lamoso gerado nas dragagens, atingindo assim, direitos de comunidades de pesca artesanal.

Como um dos principais efeitos do desequilíbrio ambiental, também se associa às obras do porto os incidentes com tubarões. Sua implantação veio a alterar a comunidade planctônica, que ao sofrer grandes modificações, alteraram a teia trófica a exemplo, as comunidades de crustáceos e assembleia de peixes que alimentam os tubarões (HAZIN et al., 2008). Também é possível citar a rota dos navios que prejudica a percepção dos animais e os traz à costa. Esses, ficam presos em um canal geológico, ocasionando os constantes ataques de tubarões no litoral de municípios vizinhos, demonstrando risco à saúde da população e ao equilíbrio ambiental. Hazin et al. (2008), cita ainda que os animais responsáveis pelos ataques são em maior parte das espécies *Galeocerdo cuvier* (tubarão Tigre) e *Carcharhinus leucas* (tubarão Cabeça Chata).

Levando-se em consideração o aspecto econômico, o complexo obteve grandes investimentos tanto do setor privado quanto do público, através do programa de aceleração do crescimento do Brasil, como no Estaleiro Atlântico Sul, refinaria, polo poliéster, entre outros, o que tem causado maior dinamismo na economia. Sua estrutura possui posicionamento geográfico favorecido, pois se encontra no centro da região Nordeste, o que o torna um influente porto em distribuição de cargas pela América do Sul (SUAPE, 2012).

Ainda sobre sua implantação, pode-se enfatizar o aquecimento econômico em nível local e regional, através de empregos indiretos e diretos gerando renda e prioridade na contratação de mão de obra local. Também é citado a relocação de parte dos moradores para casas de melhor padrão construtivo e serviços básicos. Houve ainda crescimento nos valores de arrecadação aos municípios que receberam sua estrutura, principalmente o Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, com maior valor agregado aos municípios e residências dos moradores nas áreas de influência (MELO, 2014).

3.4 VEGETAÇÃO

A região de estudo é basicamente caracterizada pela presença de vegetação litorânea; ocorre em terras baixas e planícies do litoral, com vegetação variada, entre elas, a restinga e os manguezais. Associada à vegetação litorânea do litoral brasileiro, a Mata Atlântica também se faz presente na cobertura original do litoral, porém, é um dos biomas que foi mais explorado em relação a toda bacia hidrográfica dos rios.

Atualmente, no local de estudo, a vegetação original da mata atlântica se restringe às matas secundárias com diversos estágios sucessionais, dispersos em áreas do litoral sul do estado, localizadas, em maioria, nos topos e sopés dos morros do cristalino e certas colinas nas formações Cabo, Ipojuca, Algodóais e Barreiras. Se faz importante frisar que a distribuição esparsa tanto da mata atlântica quanto de outras vegetações originais, deram lugar ao cultivo de cana de açúcar, exploração de madeira e expansão de policulturas, além da expansão imobiliária indiscriminada (CPRH, 2001).

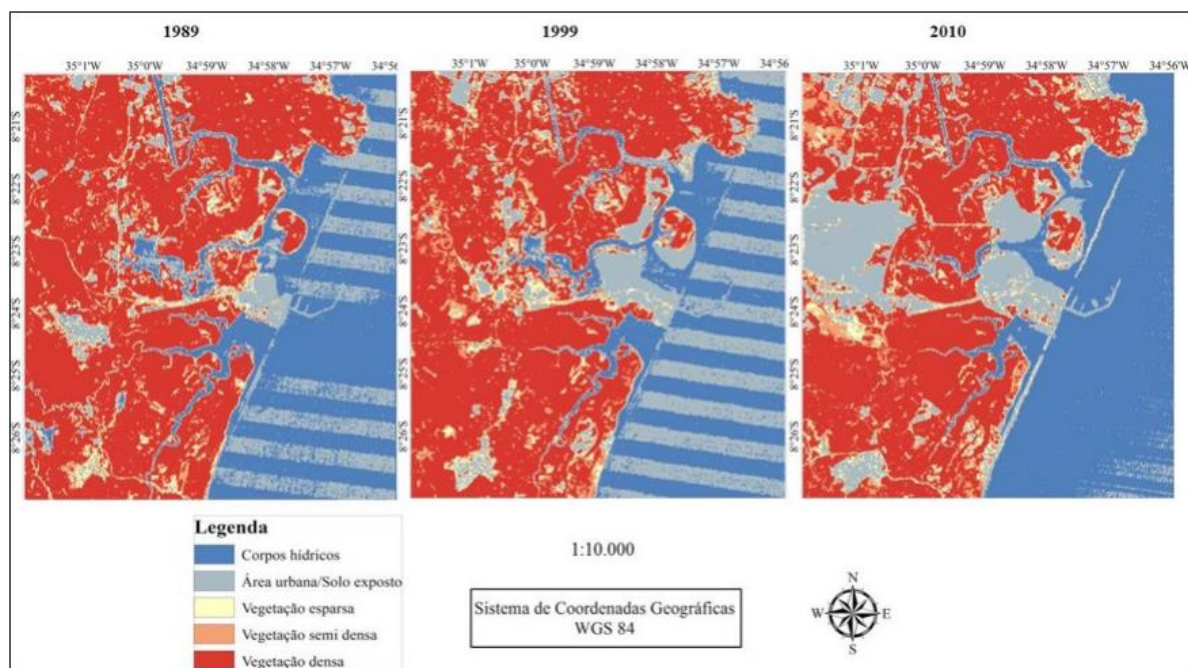
A restinga é um outro tipo de vegetação remanescente da área, onde recebe ação marinha de forma direta, com solo arenoso e abriga espécies com preferências para este tipo de substrato e oscilação de salinidade. Sua distribuição ocorre paralela à costa, nos terraços marinhos, com área reduzida nos dias atuais. Esta vegetação possui variação de características podendo ser desde vegetação rastejante até arbórea (ANDRADE & LINS, 1984; CPRH, 2003).

Já o manguezal é o ecossistema mais representativo quanto à influência na área de estudo, que comparado aos outros tipos supracitados encontra-se relativamente mais conservado. Dispõem-se justafluvial aos rios que deságuam na área e situam-se nas regiões com granulometria mais argilosa, em terrenos mais baixos, onde a maré é a condicionante principal que atua nesse ecossistema. As principais espécies de mangue que ocorrem na região são o vermelho (*Rhizophora mangle*), branco (*Laguncularia racemosa*) e preto (*Avicennia schaueriana*), que possui como fauna integrante, rica em diversidade, espécies variadas de peixes, moluscos e crustáceos. A área dos manguezais também são comumente locais de instalação de viveiros para criação de peixes e camarões (BRAGA, 1994; CPRH, 2001).

A efeito comparativo, Braga et al. (1989) realizou estudo que trouxe o conhecimento das modificações realizadas na vegetação de mangue nativa, em um espaço temporal do ano de 1974 a 1988. A vegetação passou de 2874 para 2276ha, onde esses 598ha suprimidos eram referentes à 21,2% da área estuarina do CIPS. A maior parte dessa área perdida teve como causa inundações em decorrência do represamento das águas e dragagens feitas na área do porto. Outra grande área foi perdida por aterros hidráulicos e outra parte por inundação que ocorreu em detrimento da obstrução do escoamento natural do rio Ipojuca na sua foz.

Já Vila Nova et al. (2013), deu continuidade ao monitoramento fazendo um levantamento da supressão da vegetação de mangue da área de influência do CIPS. Através de imagens dos anos 1989, 1999 e 2010, com uso de imagens do satélite LANDSAT 5, utilizou o índice de vegetação por diferença normalizada (Figura 5). As imagens revelam explicitamente a influência da instalação do CIPS na distribuição natural deste ecossistema.

Figura 5 - Diferença de vegetação entre os anos 1989, 1999 e 2010



Fonte: Vila Nova (2013).

Neste tocante dos impactos devido a implantação do porto, pode-se atribuir às construções como: o Pólo Petroquímico, Estaleiro Atlântico Sul e as demais instalações no entorno do manguezal, aos fatores que descaracterizam e desarmonizam o ambiente como ecossistema. Os aterros, desmatamentos, drenagens, represamentos e fechamento da comunicação da baía de Suape com o oceano ocasionam severas modificações no ecossistema original, intensificado o represamento de efluentes domésticos, adicionando os industriais e alterando as propriedades físico-químicas da água e sedimento (BRAGA, 1989; BRYON, 1994; SÁ et al. 2011).

A respeito da relação de importância dos manguezais para a manutenção da vida, Donato et al. (2011) descreveu o papel fundamental no sequestro de carbono, pois o manguezal armazena quantidades significativas do gás em profundidade no solo, além dos próprios compostos de carbono. A degradação e desmatamento desse ecossistema resulta na liberação desse gás aprisionado e consequente contribuição para o efeito estufa.

Assim como o carbono, a quantidade de fósforo sedimentar em área de manguezal é um importante dado para elucidar a dinâmica biogeoquímica local e além disso, inferir a origem da matéria orgânica através da razão C/P.

3.5 HIDROGRAFIA

A rede hidrográfica da área é composta por quatro rios: Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe; que hoje deságuam em duas lagunas costeiras em forma de baías. Os rios Massangana e Tatuoca desembocam na Baía de Suape, já os rios Ipojuca e Merepe, na Baía de Ipojuca. Suguio et al. (1985), descreve que essas feições cumulativas: planícies litorâneas arenosas e formações de lagunas nos estuários, acometeram toda a faixa litorânea do Brasil em consequência das oscilações do nível do mar durante o Quaternário.

Originalmente, esses quatro rios confluíam e desaguavam por uma discreta conexão com o oceano na baía de Suape. Porém, Neumann et al. (1998) relata que em detrimento da implantação do porto, tiveram seus corpos hídricos alterados e até isolados do oceano por aterros para construção da estrutura portuária. Os rios Ipojuca e Merepe que antes confluíam com o Massangana e Tatuoca na baía de Suape, hoje são impedidos pela estrutura de tancagem do porto de fluir até a comunicação natural com o oceano, no limite norte da barreira de Recife. Braga (1989), menciona que cerca de 27ha de área manguezal foram suprimidos acompanhado de áreas de plantio de cana de açúcar, decorrente de uma inundação temporária em razão dessa obstrução do curso natural do rio Ipojuca em sua foz. Para sanar o problema de inundação e represamento do rio, parte do cordão de arenito foi dinamitado na intenção de abrir uma conexão com o oceano, o que resultou em um isolamento dos sistemas causando impactos ambientais na área de influência do porto sobre o ecossistema local. Já o rio Tatuoca, que desaguava na Baía de Suape, teve sua vazão suprimida por uma barragem construída em seu baixo curso, diminuindo a velocidade das correntes que se somavam às do rio Massangana, o que também altera características originais do sistema.

3.6.1 Hidrodinâmica

Segundo Barros (2009), na região de Suape a maré é do tipo semi-diurna, onde ocorrem duas preamares e duas baixa mares relativamente de mesma amplitude, com média de período de 12,5h. As ondulações oscilam em altura entre 0,85 a 1,0m durante o verão, 1m entre outono e primavera e no inverno atingem os maiores valores, em torno de 1,25m. O período das ondas flutua em médias de 5s no verão, à 6,28s no restante do ano.

As ondulações ocorrem diretamente pelas ações das correntes, que tem influência sazonal dos ventos alísios. No verão possuem origem de nordeste gerando correntes na direção Norte-Sul

nos meses mais quentes do ano. Entretanto, predomina na região os ventos alísios de Sul-Sudeste, mais intensos nos meses de inverno, ocasionando a inversão das correntes para o sentido Sul-Norte (LIRA et al., 2010).

3.6.2 Rede hidrográfica rio Ipojuca

O rio nasce no município de Arcoverde, na Serra da Porteira, a uma altitude de 876 metros e tem sua foz na baía de Ipojuca, correndo na direção oeste-leste em regime intermitente onde se torna permanente apenas na zona da mata, o que abrange 1/6 de seu curso (CPRH, 2001). Segundo a APAC (2019), seu percurso compreende cerca de 320 km de extensão e possui 3.514,35 km² em sua bacia de drenagem. Em seu caminho, a rede hidrográfica é composta por diversos afluentes, onde pode-se citar: o riacho Liberal, riacho Taquara e riacho do Mel pela direita e, pela margem esquerda, riacho do Coutinho, riacho dos Mocós, riacho do Muxoxo e riacho Pata Choca. São 25 municípios que fazem parte da bacia Ipojuca, com 14 deles estabelecidos completamente dentro dela e 10 de forma parcial.

No trajeto, o rio corta grandes cidades no Agreste, como: Belo Jardim, São Caetano, Caruaru, Bezerros e Gravatá, assim como na Zona da Mata, as cidades de Escada e Ipojuca. O trajeto resulta na captação de grande quantidade de contaminantes provindos das redes de escoamento dessas cidades, que ainda são somadas ao volume acumulado das atividades agroindustriais, grande parte em consequência do manejo de cultivo da cana de açúcar situado nesta bacia. Também se encontra inserido no estudo, o rio Merepe, importante afluente do Ipojuca que nasce no município de mesmo nome, nas mediações do engenho Queluz, onde se denomina Arimbi. Seu percurso toma a orientação sudeste, alterando a rota já próximo à planície costeira, para nordeste, onde finalmente segue em disposição paralela à costa até sua foz, em abrangente área de manguezal, onde conflui com o Ipojuca até a desembocadura, ambos na baía de Ipojuca (CPRH, 2001; APAC, 2019).

Em sua foz e baixo estuário, o rio Ipojuca sofreu notáveis alterações conseguinte à instalação do CIPS, dado que perdeu suas características originárias no acesso ao oceano após a construção do molhe de atracagem dos navios.

A abertura feita no cordão de arenito, ocasionou um atraso de duas horas na maré, onde a preamar dura em média duas horas a menos e a baixa mar, duas horas a mais. A feição lagunar foi atribuída devido a essa peculiaridade, posto que o assoreamento causado pela dinâmica ocasionou

deposição de sedimentos e diminuição da profundidade. Propriedades estuarinas naturais foram então alteradas, como acréscimo da salinidade, turbidez e diminuição da transparência da água (Koenig et al., 2002).

3.6.3 Rede hidrográfica rio Massangana

O Rio Massangana é um rio litorâneo de curta dimensão, mas com grande relevância no âmbito da manutenção dos ecossistemas e comunidades locais. É um rio perene, que se situa no litoral sul pernambucano e atua como limite natural entre o município do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, com bacia de aproximadamente 110km² entre os dois municípios e formado pelos rios Tabatinga e Utinga de Baixo. O rio percorre 7,5 km da sua nascente no engenho Providência, em Ipojuca, até sua foz, ao sul do promontório de Santo Agostinho. Recebe mais três nomes até seu percurso final: Riacho Velho, Algodoais e Tabatinga, antes de Massangana (CPRH, 2001), desaguando juntamente ao rio Tatuoca em uma laguna costeira formada em uma baía, onde as águas são parcialmente represadas por uma barreira de recifes areníticos.

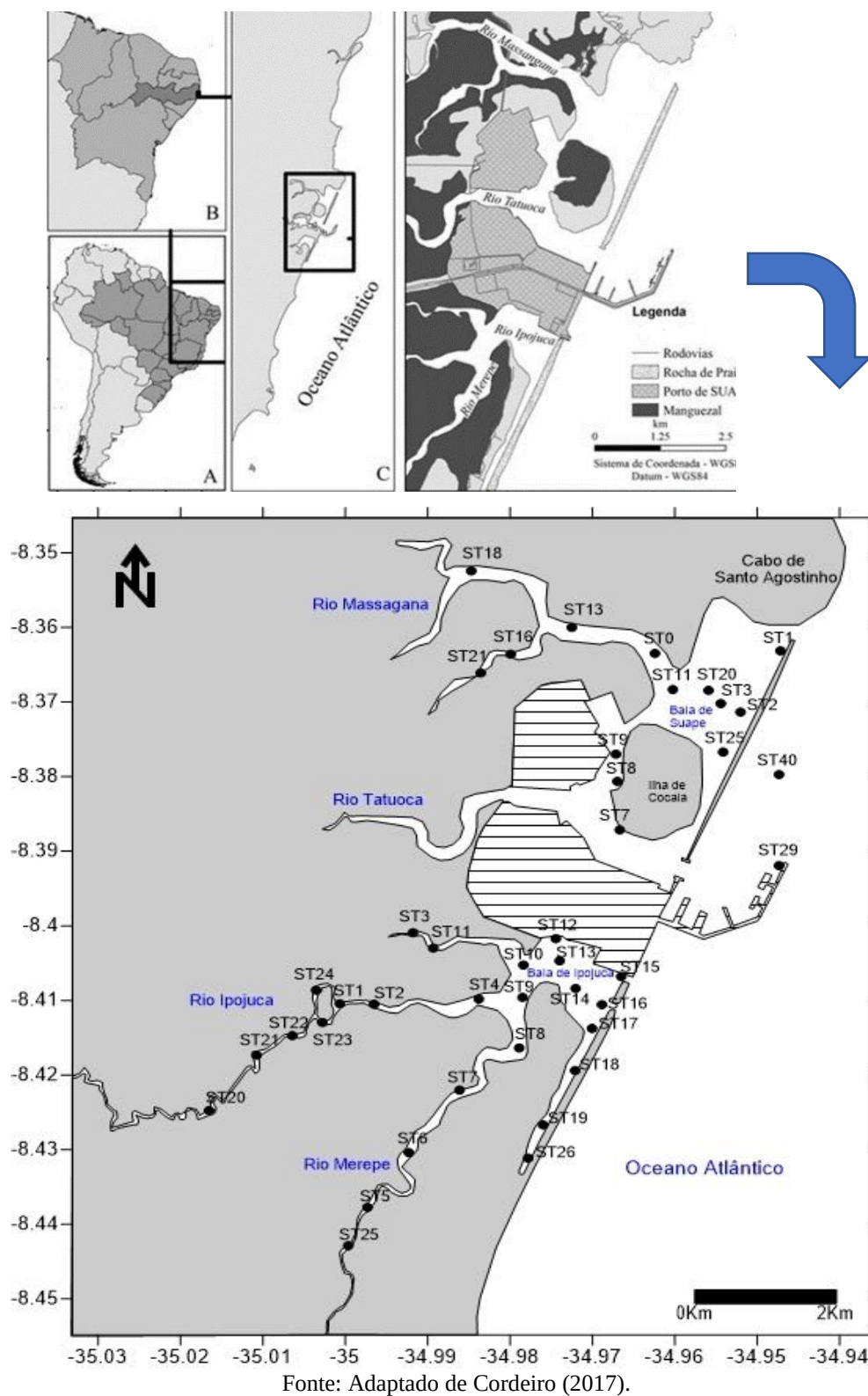
A bacia do Massangana é caracterizada por áreas de cultivo de cana de açúcar, onde gradativamente vão cedendo espaço às áreas de Mata Atlântica e aos extensos manguezais conforme caminha à jusante. A bacia é abastecida por diversos riachos e rios, como o Tavares de Melo e Tabatinga, riacho Algodoais, riacho do Poma, Tiriri, Jasmim, confluência do Rosário e Boa Vista, além da drenagem procedente do continente, com uso da água destinado ao abastecimento, irrigação e despejo de efluentes industriais e agroindustriais (CPRH, 2003; CPRH, 2010).

O rio Tatuoca compõe o estuário do Massangana, e compreende estações na malha amostral deste trabalho. Segundo a APAC (2019), assim como o Massangana, ele faz parte do grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 – GL2, desaguando também na baía de Suape. Possui 6 km de extensão e forma em seu curto trajeto, uma sistemática rede de estuários afogados e canais que derivam, possivelmente, de um antigo estuário do rio Ipojuca (CPRH, 2001; CPRM, 1998). Silveira (2010), descreve que esse importante afluente para o sistema foi assoreado pela construção de um dique de contenção, no intuito de servir como pista de acesso para as obras de construção do estaleiro Atlântico Sul, iniciada em 2005. Em detrimento dessa obra, o rio perdeu sua influência fluvial sobre o sistema, o que interferiu também na atuação das marés na região.

4 METODOLOGIA

Para a etapa em campo, foram coletadas amostras ao longo dos estuários em um barco de pesquisa, com o auxílio de um busca-fundo (draga) do tipo *Van Veen* e uma bandeja, sendo retirado cuidadosamente um filme superficial de meio centímetro para amostragem, durante período seco e chuvoso. Do campo, as amostras partiram para o laboratório em sacos plásticos identificados, onde foram resfriadas após a coleta, no intuito de evitar a atividade bacteriana. O conjunto final analisado foi de 34 amostras no estuário da laguna de Suape e rio Massangana, sendo 16 no período seco, coletada em 10 de março de 2017 (GeoSub XI) e 16 no período chuvoso, em 23 de julho de 2017 (GeoSub XIII). Já no estuário do rio Ipojuca foram 52 amostras: 26 no período seco, em 16 março de 2017 (GeoSub XII) e 26 no período chuvoso, em 29 de agosto de 2017 (GeoSub XIV). Obteve-se então, um total de 84 amostras, nos quais os pontos de coleta estivessem geograficamente espalhados e representados em todo o sistema. (Figura 6).

Figura 6 – Área de estudo e localização das estações de coleta



4.1.1 Dados sedimentológicos: (MOT, CaCO_3 e granulometria)

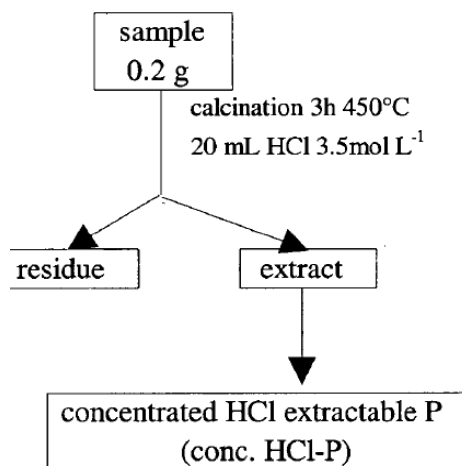
As análises granulométricas do sedimento foram realizadas através do método descrito por Suguio (1973) de peneiramento e pipetagem, sendo obtidas as frações de argila, silte, areia e cascalho. O carbonato de cálcio (CaCO_3) e o teor de matéria orgânica total (MOT) foram determinadas pela diferença de peso seco: inicial - final, após ataque de HCl e H_2O_2 a 10% (CARVER, 1971 in SUGUIO, 1973; MULLER, 1967 in SUGUIO, 1973). Foi efetuada também, a determinação da composição elementar de carbono e nitrogênio no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/ESALQ-USP (Piracicaba, SP), pela metodologia de (HEDGES & STERN 1984). Com esses resultados, as amostras foram também submetidas aos parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), diagrama de fácies texturais de Shepard (1954) e hidrodinâmico de Pejrup (1988).

4.1.2 Fósforo inorgânico, total e orgânico

No caso da análise do fósforo sedimentar, suas frações químicas foram processadas utilizando a técnica de Williams et al. (1976), modificada, descrita por Pardo et al. (2004), sendo o método indicado pelo "standarts, measurements and testing (SMT) programing" da comissão europeia. A determinação do fósforo inorgânico (P_i) é feita pela digestão de 0,2 g da amostra por 20ml de HCl à 1M, agitada por 16h. Com o extrato, retira-se o sobrenadante e coloca-se na centrífuga por 15 minutos. Para a leitura, a amostra é dosada com molibdato de amônio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$) em meio ácido, formando um complexo que é reduzido pelo ácido ascórbico e diluída a 2%. Para leitura, utiliza-se o método da colorimetria indicado por Murphy and Riley (1962) e descrita por Watanabe and Olsen (1965), por espectrofotometria. A leitura é realizada em cubeta de 1cm, com comprimento de onda com absorbância máxima de 885nm e de coloração azul.

Para a leitura do fósforo total, Ruban et al. (2001) esquematizou a obtenção por meio direto, segundo modelo da SMT (Figura 7):

Figura 7 - Procedimento de extração de Fósforo Total



Fonte: Ruban (2001).

Este método consiste no mesmo procedimento anterior, com exceção da molaridade utilizada no ácido, agora à 3M, onde também ocorre processo de calcinação por 3h à 450°C antes da agitação. Por fim, são obtidos os valores de fósforo inorgânico, total e por subtração, o fósforo orgânico (P_O): $P_O = P_T - P_I$. Os valores foram obtidos em mg/L e por manipulação algébrica foi feita a conversão para mg/g.

4.1.3 Descrição e tratamento estatístico

Para tratar os resultados, foram utilizados softwares específicos para a modelagem desses dados. Nos programas Surfer11, Arcgis, Excel e Primer, foram registrados e devidamente descritos. Para auxiliar a análise comportamental e espacial destas frações, foram utilizados parâmetros de batimetria e pluviometria na discussão dos resultados, primordiais para compreensão das mudanças na região durante diferentes períodos sazonais.

Para o tratamento estatístico, os dados foram transformados por $\log(x+1)$ e depois normalizados. Foi feita então, uma matriz por distância euclidiana para posterior análise de PCA e sua generalização, PCO - análise de coordenadas principais (MANLY, 1994; JONGMAN et al., 1995), análise de PERMANOVA, como também, correlações de *Pearson*.

5 RESULTADOS

Neste tópico são apresentados os resultados de todos os parâmetros analisados no trabalho.

5.1 PLUVIOMETRIA

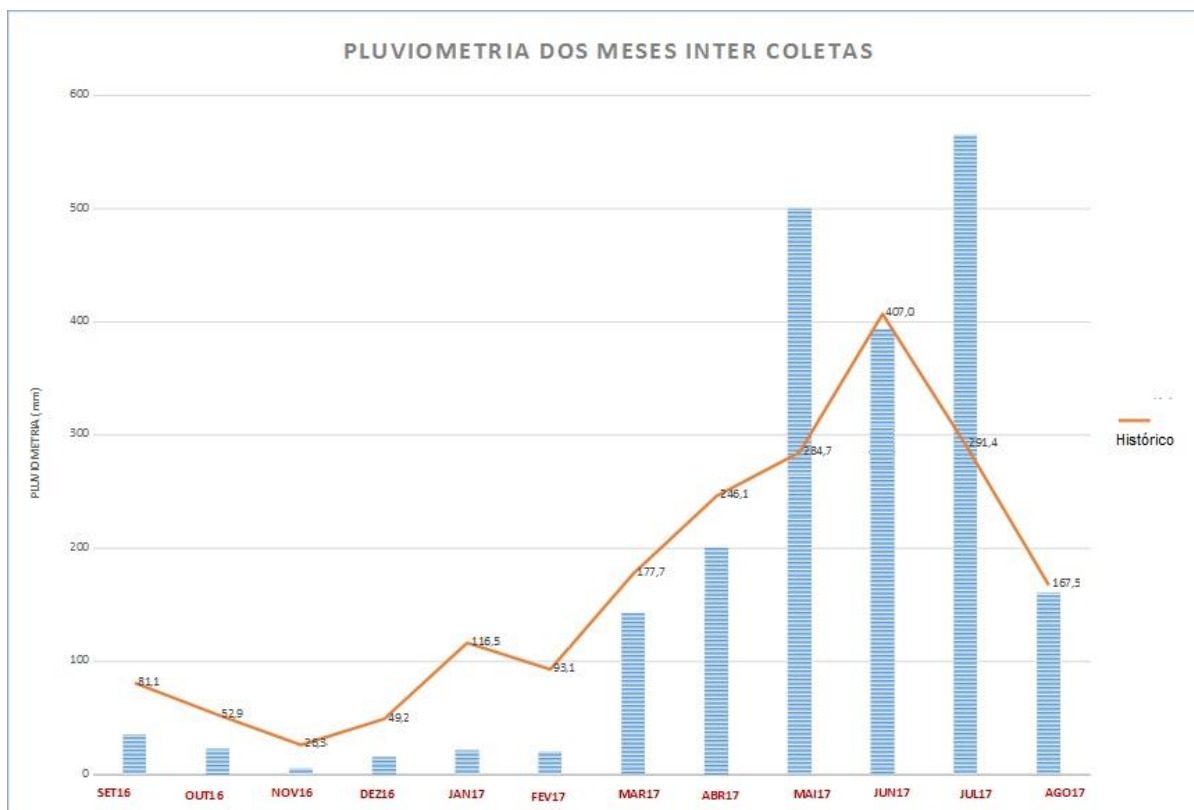
Para os dados pluviométricos, foram observados dados da APAC (2019) para os 6 meses anteriores e 6 meses concomitantes às coletas (de setembro de 2016 até agosto de 2017), em um período sazonal de um ano (Figura 8). Os meses analisados foram comparados a uma média histórica traçada para os mesmos períodos (Tabela 1). Para obtenção das médias foram observados dados dos anos de 1999 à 2017, como indica a tabela.

Tabela 1 - Médias mensais entre os anos de 1999 e 2017

Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
81,1	52,9	26,3	49,2	116,5	93,1
Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto
177,7	246,1	284,7	407	291,4	167,5

Fonte: APAC (2019).

Figura 8 – Balanço hídrico entre os meses intercoletas e médias históricas.



Fonte: APAC (2019).

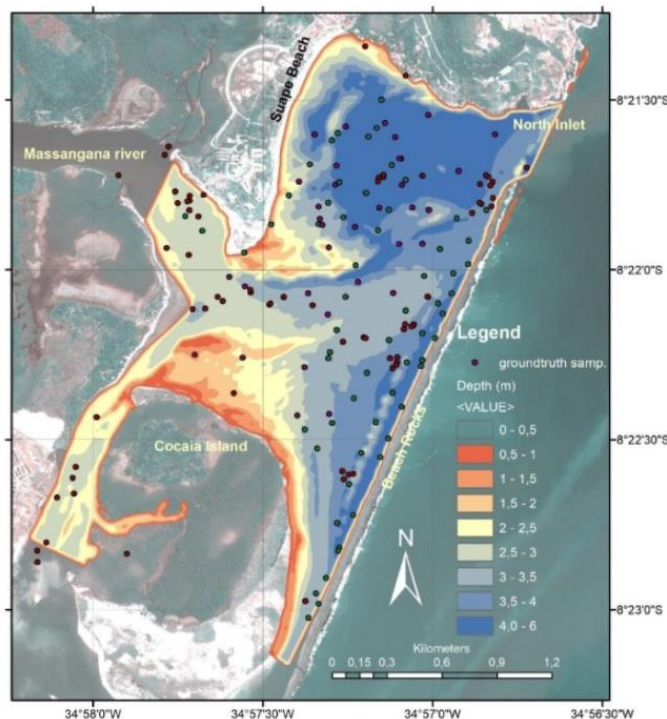
O gráfico da figura 8 mostra que o período seco 2016-17 foi mais seco que a média histórica, incluindo o mês de abril. No caso do outono-inverno de 2017 o comportamento foi contrário, com 2 meses com pluviosidade próxima às médias (jun. e ago.), enquanto maio e julho apresentaram índices 50% maiores, acima dos 500mm.

5.2.1 Batimetria do estuário de Suape

O estuário de Suape (Figura 9) tem como características topográficas baixa profundidade em geral, com exceção do canal do porto, local sujeito a constantes dragagens para o tráfego marinho, e saída do rio Massangana, onde possui um leito de maior profundidade que a média do restante do estuário, escavado pelo curso do rio até o encontro com o oceano. A batimetria alcança cotas de 0m, em bancos de areia emersos na maré baixa, até 10m a 11m nas áreas mais profundas. Também é notável o canal de dragagem que segue até a porção sul do Massangana, antigo canal do Tatuoca, forma um desnível entre a zona de transição para o Tatuoca, com diminuição de

profundidade abrupta nessa área.

Figura 9 – Batimetria da Baía estuarina do rio Massangana/Suape

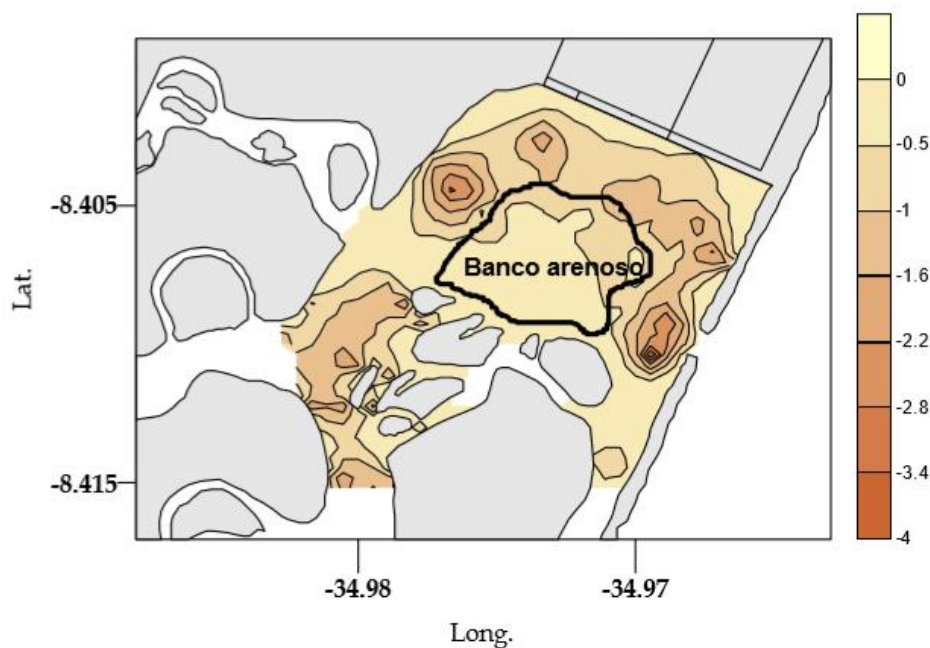


Fonte: Conti et al. (2018).

5.2.2 Batimetria do estuário de Ipojuca

O estuário de Ipojuca possui batimetria rasa, (Figura 10) em geral, com profundidades de até 1,6m, chegando a 3,4 a 4,0m em áreas mais profundas, que são referentes ao local de desembocadura do rio para o estuário, assim como na porção que a comunicação da água fluvial represada no estuário é feita para o oceano através de um estreito canal aberto transversalmente ao cordão de arenito. Como feição marcante na baía estuarina no Ipojuca, pode-se citar a ocorrência de um banco arenoso emerso no centro, onde ocorrem ao norte desse banco, pontos de maior profundidade no estuário referente ao canal original do rio antes da construção do porto.

Figura 10 – Batimetria do baixo estuário do rio Ipojuca

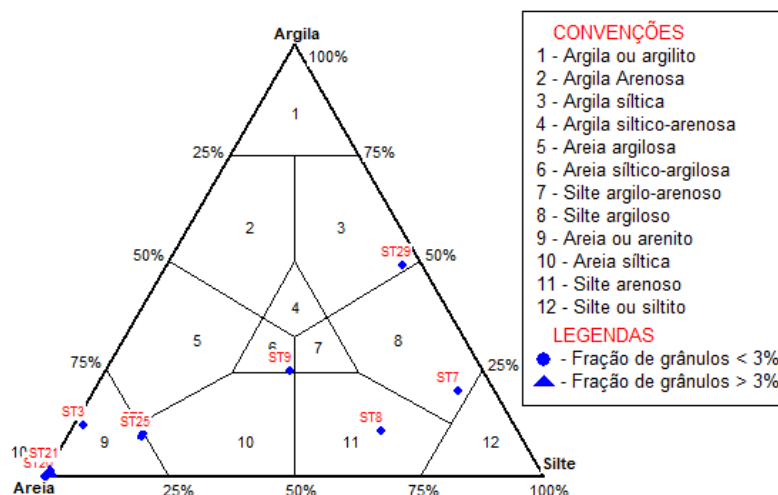


Fonte: Lins (2002).

5.3.1 Classificação de fácies texturais de Shepard (1954)

Analisando os resultados gerados para a porção estuarina ao norte do Porto, o diagrama de fácies (Figura 11) apresenta variação de cinco classes granulométricas (Tabela 2). A classe 9, areia, compõe 75% das estações (12 de 16), predominando na totalidade da Baía de Suape e estuário do Massangana. Fácies siltico-argilosas são encontradas no canal interno do Porto (Sts 7, 8 e 9) e na área abrigada do quebra-mar no porto externo (St. 29).

Figura 11 – Diagrama de fácies texturais de Shepard (1954) Estuário rio Massangana no período chuvoso (jul. 17).



Fonte: A Autora (2019).

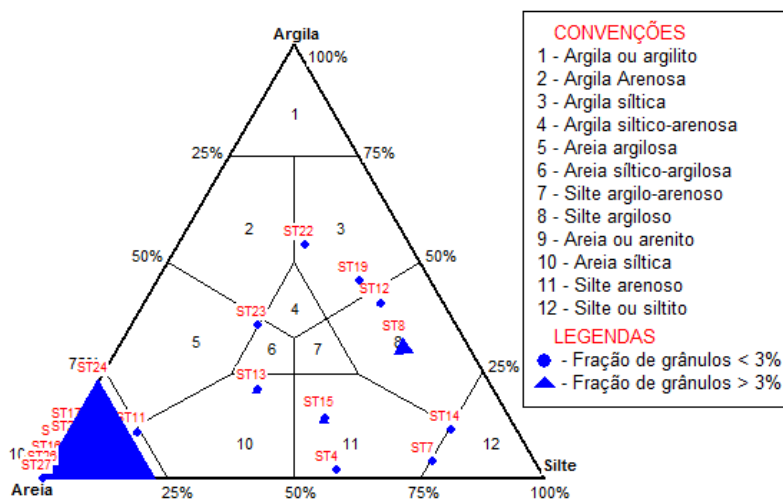
Tabela 2 - Classificação de fácies texturais das amostras do estuário de Suape, segundo Shepard (1954).

Fáceis texturais	Percentual (%)
Silte arenoso	6,25%
Areia	75,00%
Silte argiloso	6,25%
Areia siltica-argilosa	6,25%
Argila siltica	6,25%

Fonte: A Autora (2019).

De acordo com os resultados obtidos no diagrama de fácies, são identificadas sete classes de fácies texturais no estuário de Ipojuca, com predomínio de 61,54% para a classe de areia. O resultado configura maior heterogeneidade sedimentar em termos espaciais que o estuário de Suape, bem como a maior presença de sedimentos finos, diretamente relacionada ao aporte perene via estuário do Rio Ipojuca. Sedimentos siltico-argilosos são encontrados no alto e baixo estuários do Ipojuca (Sts 4, 22 e 23), baixo e médio estuários do Merepe (Sts 7, 8 e 9), Baía do Ipojuca (Sts 12, 13, 14 e 15) e na laguna de Muro alto (St 19).

Figura 12 – Diagrama de fácies texturais de Shepard (1954) do estuário do rio Ipojuca no período chuvoso (ago. 17)



Fonte: A Autora (2019).

Tabela 3- Classificação de fácies texturais das amostras do estuário de Ipojuca, segundo Shepard (1954).

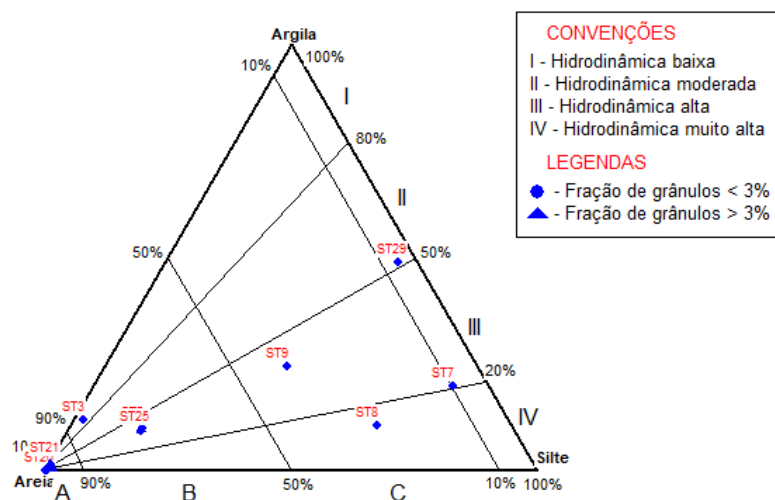
Fáceis texturais	Percentual (%)
Argila siltica	7,69%
Areia argilosa	3,85%
Silte argiloso	7,69%
Areia	61,54%
Areia siltica	3,85%
Silte arenoso	7,69%
Silte	7,69%

Fonte: A Autora (2019).

5.3.2 Diagrama triangular de Perjup (1988)

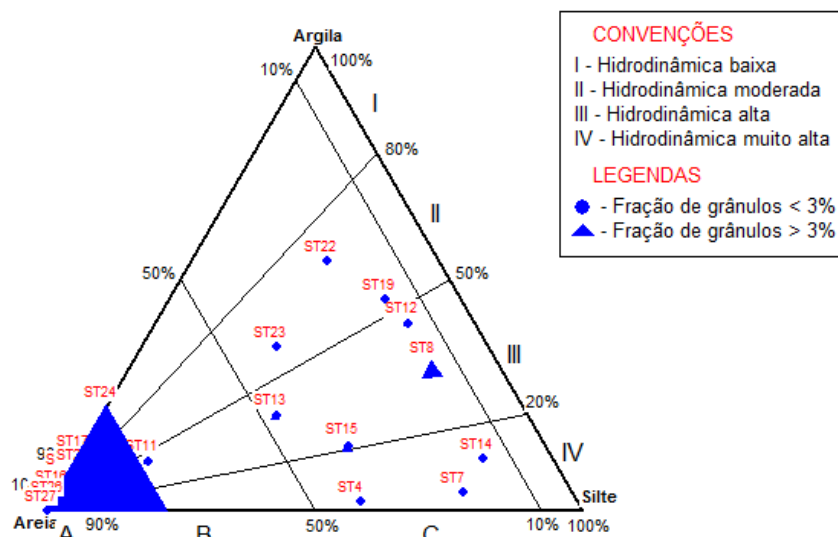
Ao observar-se o diagrama de Pejrup (1988) que permite estimar a hidrodinâmica estuarina, pode-se afirmar que ambas baías-estuarinas tem fácies texturais indicativas de ambientes de moderada a alta hidrodinâmica, inclusive nas estações no canal de dragagem do porto (7, 8, 9 e 29), local de elevada profundidade e com predomínio de sedimento lamoso, como visto também por Barros et al. (2017). Algumas estações de coleta indicaram, entretanto, estar associadas a ambientes de menor dinâmica de correntes, tais como: 2 e 3 no lado Suape/Massangana (Fig. 13); e 19, 22, 23 no Ipojuca (Fig. 14). De fato, a presença de material argiloso, siltoso e areias finas, caracteriza mesmo no período chuvoso, a presença de áreas com baixa energia/velocidade de correntes.

Figura 13 – Diagrama hidrodinâmico de Pejrup (1954) do estuário do rio Massangana e Baía de Suape no período chuvoso (jul. 17).



Fonte: A Autora (2019).

Figura 14 – Diagrama de hidrocinâmico de Perjup (1954) do estuário do rio Ipojuca no período chuvoso (ago. 17).

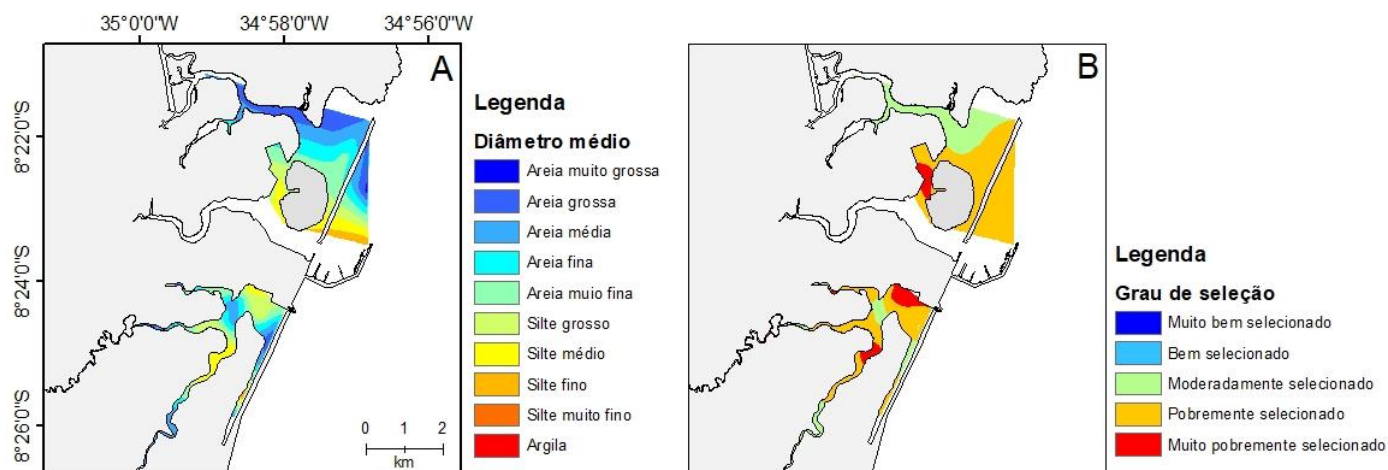


Fonte: A Autora (2019).

5.3.3 Diâmetro médio e Grau de Seleção (Folk and Ward, 1957)

O resultado das coletas realizadas entre julho e agosto de 2017, demonstra a predominância de sedimentos arenosos, em geral de areias finas, moderadamente e pobremente selecionadas (Fig. 15A, B), com valores de phi entre -0,45 a 6,84 e média de 2,72 (areia fina).

Figura 15 – Mapas de distribuição espacial do diâmetro médio (A) e grau de seleção (B) (período chuvoso 2017), segundo os parâmetros de Folk and Ward (1957)



Fonte: A Autora (2019).

Em teoria, o grau de seleção é um parâmetro de distribuição de tamanho dos grãos. Quanto maior o grau de seleção, menor é a dispersão de seus valores granulométricos, ou seja, maior tendência à mediana desses valores (JESUS et. al, 2013). Com o transporte, a tendência é que os grãos se separem pelo seu tamanho, formato e peso, sendo o grau de energia realizada nesse transporte a forçante principal. Por isto é um parâmetro cujos valores nos permite inferir a flutuação energética da hidrodinâmica em sistemas aquosos (SUGIO, 2003). Folk (1957) observou que os sedimentos de praia, em geral, possuem maior grau de seleção que os sedimentos fluviais, devido à contribuição dos agentes costeiros.

Essa característica foi observada no ambiente da presente pesquisa, (vide Fig. 15) pois em geral, o sistema é classificado como moderadamente a pobremente selecionado, em 45,24% e 30,95% das 42 amostras, respectivamente. As estações muito pobremente selecionadas compõem 21,43% das amostras. Em Suape, quando analisado separadamente, o estuário apresenta 7 de 16 estações (43,75%) de sedimentos moderadamente selecionados e pobremente selecionados em igual proporção e 2 estações (12,5%) como muito pobremente selecionado. O Ipojuca apresenta 12 de 26 estações (46,15%) de amostras moderadamente selecionadas, 7 (26,92%) como muito pobremente selecionadas, 6 (23,07%) classificadas como pobremente selecionadas e 1 (3,84%) como bem selecionada. Ao compararem-se os mapas de phi e grau de seleção do período chuvoso de 2017 com os trabalhos de Oliveira (2019) para Suape, constata-se que a granulometria não variou sazonalmente para a Baía de Suape e estuário de Massangana no ano de 2017 (OLIVEIRA, 2019). No caso do rio Ipojuca (SANTOS et al., 2018), foi observada uma variação nos sedimentos, mais lamosos no período chuvoso que no seco (mar. 2017).

5.3.4 Distribuição dos teores de cascalho, areia, silte e argila

Quanto às frações granulométricas (Fig. 16), a distribuição de cascalho possui menor contribuição entre as amostras em ambos os estuários, com média de 3,13%, sendo mais concentrada em Suape, relevante apenas na estação 40 (52,60%), uma vez que se encontra na plataforma interna adjacente ao porto e portanto, mais exposta às ações das ondas sem a proteção do cordão de arenito, o *beachrock* que separa a baía do mar aberto. As demais estações não ultrapassam 2,5% de teor, pois estão abrigadas das ondas pelo cordão de arenito e contam com menor energia para transportar essas partículas. Na baía de Ipojuca o maior teor de cascalho é de

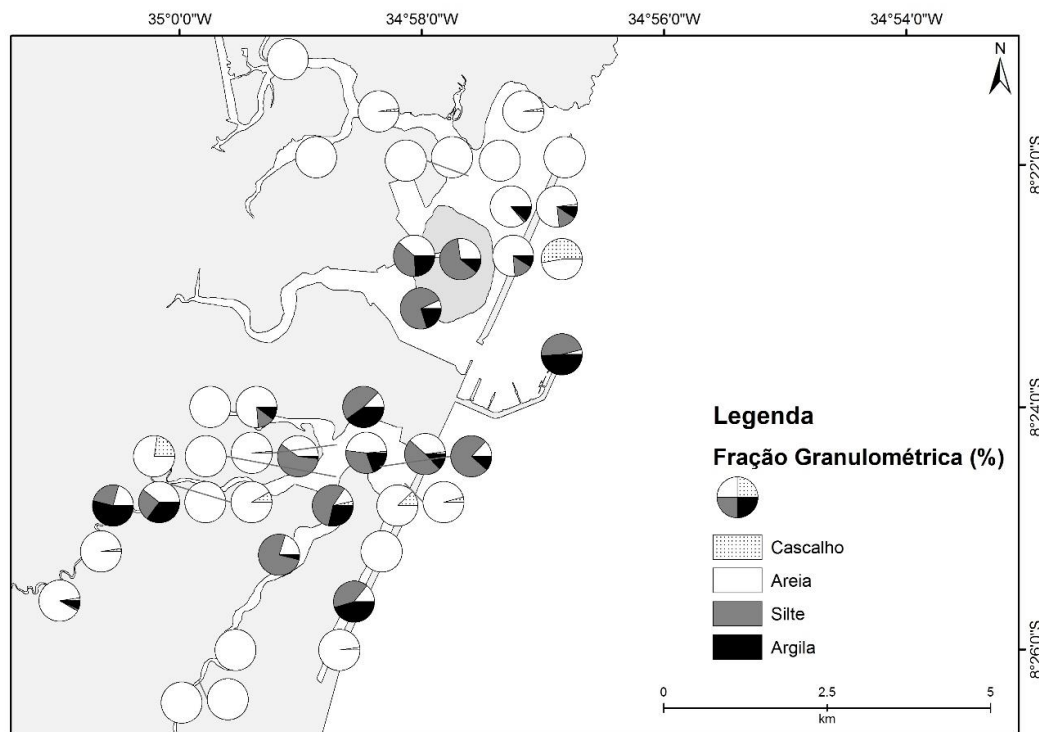
22,70% na estação 24, na “borboleta do Ipojuca”, porção meandrante e confinada da malha amostral, situada no médio estuário. Schenk (2014) relata que existe maior velocidade de correntes na porção externa que na interna dos meandros, com maior tendência de erosão em seu sentido côncavo do meandro. Assim sendo, a estação 24 recebe essa energia do fluxo da água quando desviado, apresentando além de um valor significativo de cascalho, fragmentos de rochas misturados à areia. A estação 17, mais próxima ao *beachrock* externo e que também recebe influência da energia das ondas, conta com 12,05% de teor de cascalho. Já as demais estações não ultrapassam 4,5% de teor.

A classe areia predomina em ambos os estuários, com maior contribuição no estuário de Suape, em 12 de 16 estações (75%) do que no Ipojuca, 16 em 26 estações (61,54%). Em geral, das amostras predominantemente arenosas, esses teores se encontram entre 70 a 99%, nos dois estuários.

A contribuição de lama (silte e argila) ocorre com maior expressão que a de cascalho, onde em média é responsável por mais de 25% do teor de todas as amostras no sistema como um todo, sendo 24% no estuário de Suape e 29,6% no Ipojuca. Essa maior expressão estaria diretamente relacionada ao aporte fluvial do próprio Rio Ipojuca. As amostras que apresentam os maiores teores de silte, são também as que apresentam os maiores conteúdos de argila em ambos os sistemas estudados.

Os maiores teores de lamas em Suape são: 96,24%, 93,14%, 72,80% e 61%, todas localizadas no canal do porto (STs 29, 7, 8 e 9 respectivamente); a primeira na entrada do porto e as outras três mais adentro do canal, entre os estaleiros Atlântico Sul e Promar e a Ilha da Cocaia. Essas estações com valores discrepantes, foram sujeitas às alterações sedimentares devido à dragagem do canal realizada para o tráfego de navios de grande porte. Entre as demais estações em Suape, os teores de lama variam entre 0 a 23%. Enquanto no estuário de Ipojuca, as maiores contribuições oscilaram entre 51,88% a 87,31%, que correspondem a estações na baía de Ipojuca (STs 12, 13, 14 e 15), na laguna de Muro Alto (ST 19), no rio Merepe (sts 5, 7, 8) e porção interna do meandro no médio estuário, na borboleta do rio (STs 22 e 23). Essa última ocorrência se opõe a estação 24, onde dessa vez, com menor fluxo de energia, os sedimentos se depositam na margem oposta (SCHENK, 2014).

Figura 16 – Frações granulométricas no período chuvoso (jul./ago.2017)



Fonte: A Autora (2019).

5.4 GEOQUÍMICA SEDIMENTAR

Nesta seção são descritos os resultados dos parâmetros geoquímicos.

5.4.1 Teores de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Matéria orgânica total (MOT)

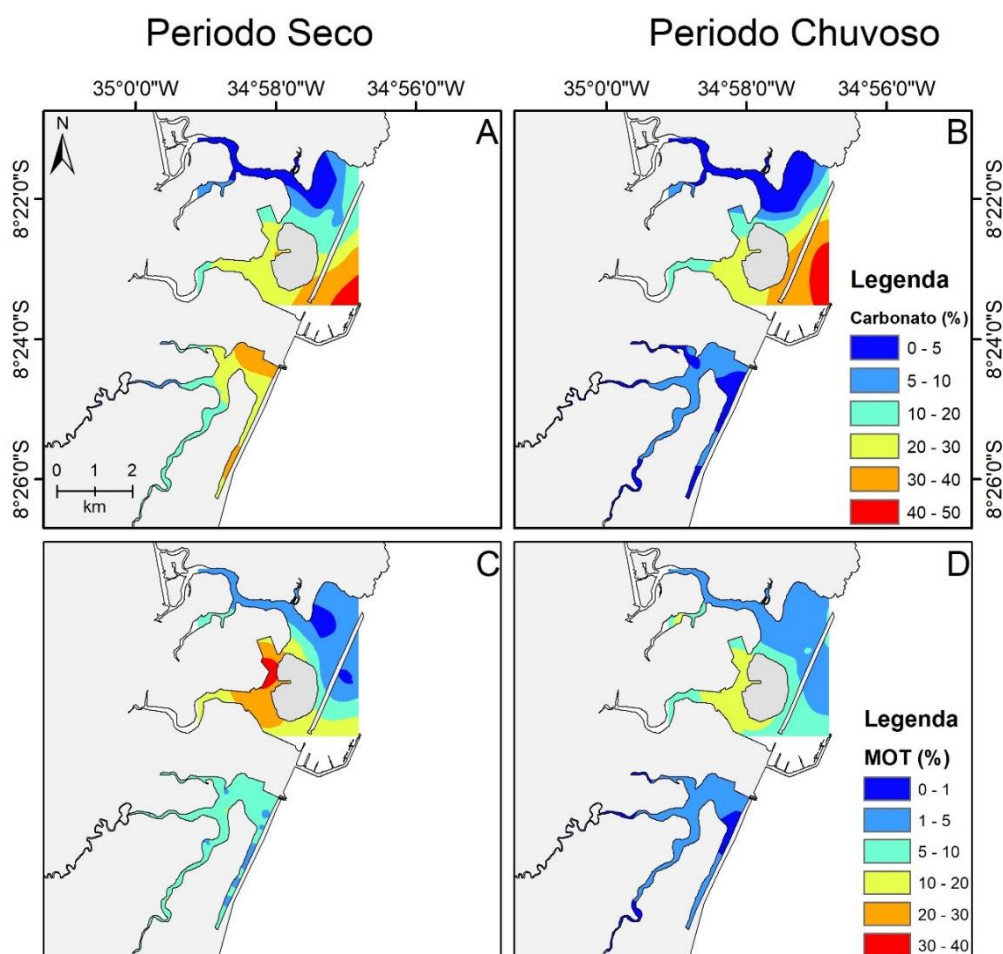
Durante o período chuvoso, (Fig. 17B) os teores de CaCO_3 variam de 0,50 a 44,50%, com média de 15,60% no estuário de Suape e de 0,30 a 13,40%, com média de 4,25% no estuário de Ipojuca. Os sedimentos são majoritariamente classificados, segundo Lassoneur (1977), em litoclásticos (96,4%), uma vez que a influência fluvial dos estuários favorece maior aporte terrígeno na composição dessas amostras, além de inibir a precipitação do CaCO_3 (Paraopkari, et al., 1991). Apenas as duas estações localizadas na plataforma interna adjacente (STs 29 e 40) são classificadas como litobioclásticas, pois ocorre maior contribuição marinha na sedimentação local, visto que se encontram antes do cordão de arenito. Durante o período seco, é possível observar nos sistemas teores de carbonato de cálcio majoritariamente litoclásticos, que variam de 1,9 (ST 20) a 48,70% (ST 29) em Suape, com média de 15,42% (OLIVEIRA et al., 2017) e 0,10 (ST 22) a 49,10% (ST 19) no Ipojuca, com média de 18,36% (SANTOS et al., 2018) - (figura 16A).

Dados de Oliveira et al. (2017), retratam que a matéria orgânica total no estuário de Suape durante o período seco (Fig. 17C), varia de 0,67 (ST 20) a 39,60%, com valor médio de 8%. Os maiores valores ocorrem de forma concentrada no canal dragado do porto interno de Suape nas estações 7, 8 e 9, entre os estaleiros Atlântico Sul, Promar e ilha de Cocaia, além da estação 29 localizada na plataforma interna, na entrada do canal do porto. Destas, a ST 9 atinge o maior valor de todo sistema (39,6%). O menor teor (ST 20), entretanto, se localiza próximo a desembocadura do rio Massangana, onde a estação recebe influência também de água marinha que adentra ao sistema pela abertura do recife.

A distribuição da MOT no estuário de Ipojuca, apresentou distribuição de matéria orgânica mais uniforme em ambos períodos (Fig. 17C e 17D), com porcentagens máximas entre 10-20%. Segundo Santos et al. (2018) no período seco, o menor teor do estuário é de 0,4% (ST 16) enquanto o maior é de 19,40% (ST 12) e com média de 6,5%. Os pontos que apresentam maior faixa de porcentagem são a estação 9, na zona de transição entre a baía e o baixo estuário do Merepe; na baía de Ipojuca (STs 12 e 13); borboleta do rio Ipojuca (médio estuário), (STs 22 e 23) e outro ponto do médio estuário do rio Merepe (ST 6).

No período chuvoso (Fig. 17D) ocorre no sistema como um todo, o predomínio de teores orgânicos na faixa de até 5%. No estuário de Suape, os maiores valores estão concentrados nas maiores profundidades (> 10,6m), adjacente ao terminal portuário (STs 7, 8 e 9), como também em um baixio sedimentar no alto estuário do rio Massangana (ST 16). Nesta porção do sistema, o menor teor é de 0,73% (ST 18), já o maior percentual atinge 16,80% (ST 9), enquanto a média não ultrapassa os 6%. No estuário de Ipojuca, nenhuma amostra apresentou percentual de M.O.T. acima dos 5% (Fig. 17D). O menor teor foi de 0,09% (STs 2 e 3) e o maior de 4,02% (ST 7), com teor médio de 1,3%.

Figura 17 - Distribuição espacial dos teores de carbonato de Cálcio (CaCO_3) (A, B) e Matéria Orgânica Total (MOT) (C, D), no período seco e chuvoso de 2017, respectivamente.

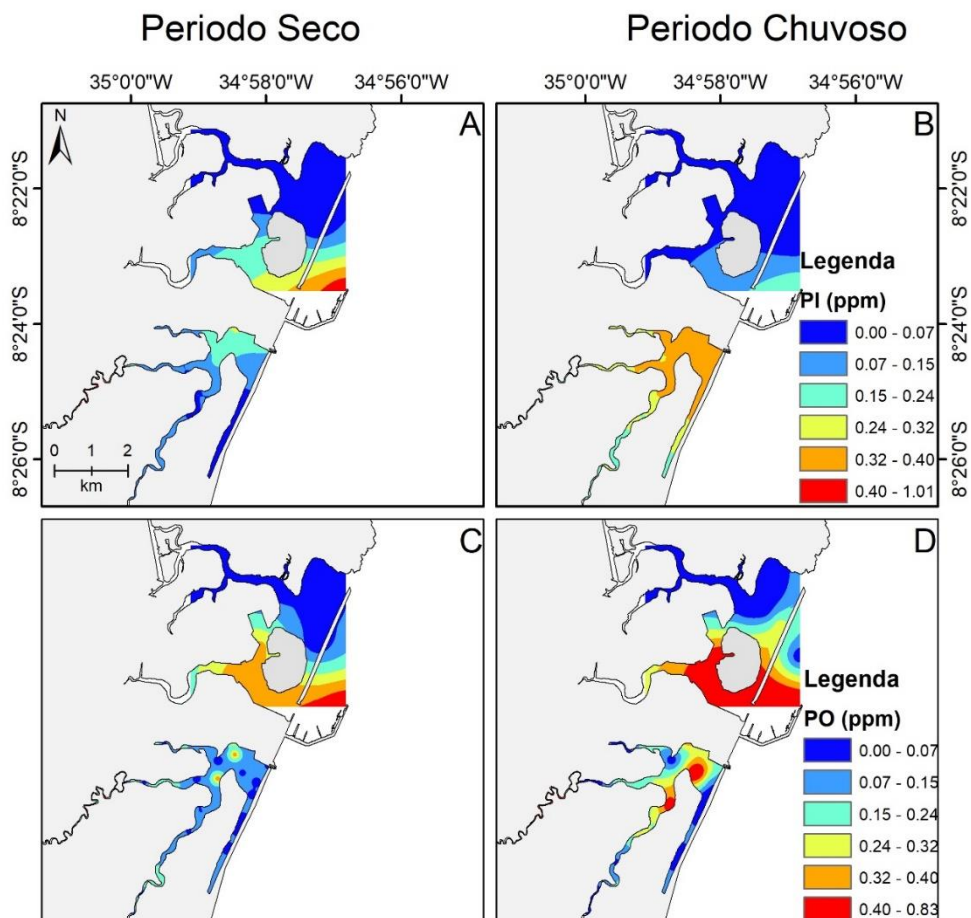


Fonte: A Autora (2019).

5.4.2 Teores de Fósforo Orgânico (PO) e Fósforo Inorgânico (PI)

Os teores de fósforo inorgânico e orgânico do período seco e chuvoso de 2017 estão representados na figura 18.

Figura 18 - Distribuição espacial dos teores de Fósforo Inorgânico (A, B) e Fósforo Orgânico (C, D), no período seco e chuvoso de 2017, respectivamente.



Fonte: A Autora (2019).

Durante o período seco, os teores de PI no estuário de Suape (Fig. 18A) variaram de 0,00 mg/g (STs 0, 2, 13, 16, 18, 20, 21 e 25) a 0,49mg/g (ST 29), com média de 0,08 mg/g de PI. Os maiores teores se encontram na estação 29, na entrada do terminal portuário, seguido das três estações (7, 8 e 9) dentro do canal de dragagem, entre a ilha de Cocaia e os estaleiros Atlântico Sul e Promar.

O fósforo inorgânico (PI) (Fig. 18A) no estuário de Ipojuca, apresentou teor mínimo de 0,00 mg/g (STs 1, 2, 3, 5, 7, 10, 16, 17, 18, 25 e 26) e maior valor de 0,54 mg/g (ST 12), com valor médio de 0,16mg/g, portanto 50% maiores que no estuário de Suape. As estações com maiores valores estão localizadas nos meandros no alto estuário do Ipojuca (STs 21 e 22), como também na zona de transição entre a baía de Ipojuca para a laguna-estuarina do Merepe (ST 9), em seu baixo estuário, e na estação adjacente à indústria da Bunge alimentos (ST 12) na Baía do Ipojuca.

Para o PI no período chuvoso (Fig. 18B), o intervalo dos teores em Suape foi de 0,0mg/g (0, 1, 2, 3, 11, 13, 16, 18, 20, 21, 25 e 40) a 0,24mg/g (ST 29), com média de 0,03mg/g. O nutriente teve a menor distribuição espacial, com seus valores concentrados no canal do Porto em 4 estações (7, 8, 9 e 29), compondo 25% da malha amostral. No estuário Ipojuca houve um aumento sensível nos teores e distribuição de PI no período chuvoso de 2017, com 19 das 26 amostras (73,1%) apresentando teores de PI. Estas 19 amostras possuem teores que variam de 0,0mg/g à 1,01mg/g (ST 9) e apresentam média de 0,26mg/g. Os maiores teores estão nos meandros no alto estuário do Ipojuca (STs 22 e 23), na zona de transição entre laguna do Merepe e baía de Ipojuca (baixo estuário do Merepe), apresentando a maior concentração do sistema inteiro, com 1,01mg/g.

O fósforo orgânico (PO) no período seco (Fig. 18C), tem no estuário de Suape valores que variam de 0,0 mg/g (STs 0, 20 e 25) à 0,51 mg/g (ST 29), com média de 0,13mg/g nessa porção do sistema. Seus maiores teores são encontrados no canal interno e externo do Porto e os menores no estuário do Massangana e Baía de Suape. No caso do estuário de Ipojuca, o menor teor foi de 0,0 mg/g (STs 1, 2, 3, 5, 10, 16, 17 e 18) e o maior 0,68mg/g (ST 23), com média de 0,16 mg/g de PO, indicando maior teor nessa parte do sistema. No estuário do Ipojuca os maiores teores estão associados ao baixo Merepe (ST 9), baía estuarina do Ipojuca (ST 12), alto e médio estuário do Ipojuca (STs 21, 22, 23 e 24). Além disso, os menores se encontram na laguna de Muro Alto (STs 16, 17 e 18), médio estuário do Ipojuca (STs 1 e 2), bem como no alto e baixo estuário do braço norte do Ipojuca (STs 3 e 10) e alto estuário do Merepe (ST 5).

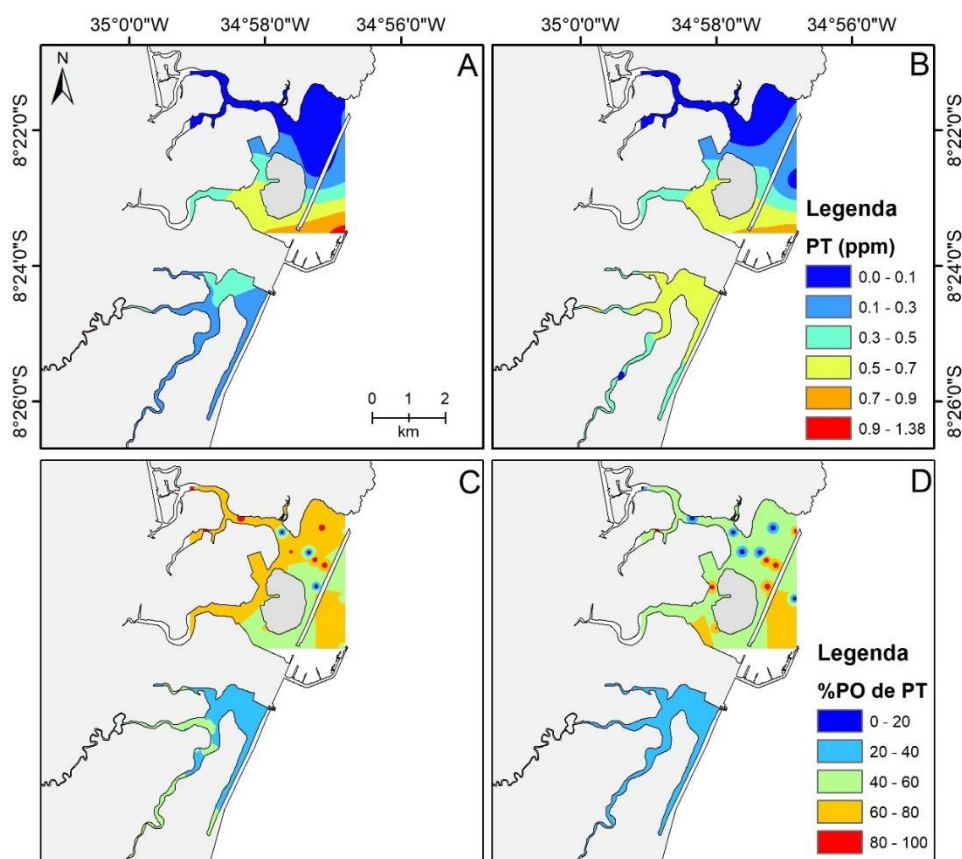
Quanto à dispersão das amostras nos sistemas durante o período seco, o PO foi detectado em maior proporção no estuário de Suape, em 13 das 16 estações (81,25% das amostras). Em contraste com o Ipojuca, em que 18 das 26 estações (69,23%) ocorreram a detecção de fósforo orgânico, resultando no sistema como um todo, 31 estações de 42 (80,46%) com valores de fósforo orgânico presente.

Para o período chuvoso, o fósforo orgânico (Fig. 18D) indicou no estuário de Suape valores de 0,0 mg/g (STs 0, 11, 13, 18, 20 e 21) à 0,59mg/g (STs 29), com média de 0,18 mg/g. No estuário de Ipojuca, os valores variam de 0,0 mg/g (STs 1, 2, 3, 5, 18 e 25) à 0,78mg/g (ST 21) e sua média é de 0,19 mg/g. Os maiores valores se encontram nas regiões de maiores profundidades no estuário de Suape, nas estações do canal dragado do porto interno, variando de 0,38 à 0,59mg/g de PO no canal. No Ipojuca, as áreas preferenciais de deposição de PO ocorrem na baía de Ipojuca (ST 14), nos estreitos canais meandantes do alto estuário Ipojuca (ST 21) e em uma amostra no baixo estuário do Merepe (ST 8).

5.4.3 Teores de Fósforo Total (PT) e percentual de PO em relação ao PT (%PO x PT)

Os teores de PT e o %PO x PT do período seco e chuvoso de 2017 estão representados na figura 19:

Figura 19 - Distribuição espacial dos teores de Fósforo Total (A, B) e %Fósforo Orgânico x Fósforo Total (C, D), no período seco e chuvoso de 2017, respectivamente



Fonte: A Autora (2019).

O fósforo total (PT) no período seco (Fig. 19A), tem variação no sistema de Suape de 0,00 mg/g (STs 0, 13, 20 e 25) à 1,01mg/g (ST 29), com média de 0,20mg/g. Enquanto no estuário de Ipojuca teve amplitude de 0,00mg/g (STs 1, 2, 3, 5, 10, 16, 17 e 18) a 1,38mg/g (ST 21), com média de 0,32mg/g. As porções dos 2 sistemas onde ocorrem os maiores teores de PT (>0,5mg/g) estão espacialmente associadas aos maiores núcleos de PI e PO, como no canal interno e externo do Porto (em Suape: STs 7, 8, 9 e 29), no baixo estuário do Merepe (ST 9), baía estuarina do Ipojuca (STs

12 e 13) e no médio e alto estuário do Ipojuca (STs 21, 22, 23 e 24). De fato, a correlação de *Pearson* (Tab. 6) entre estes parâmetros, onde: $r^2 = 0,96$ (PT x PI) e $0,95$ (PT x PO) confirma as associações.

No período chuvoso, o fósforo total (Fig. 19B) apresenta variação no estuário de Suape de 0,00 (STs 0, 11, 13, 18, 20, 21 e 40) à 0,83 mg/g (ST 29) e média 0,21 mg/g. E no estuário de Ipojuca, teve como teor mínimo 0,00 mg/g (STs 1, 2, 3, 5, 18 e 25) e maior 1,29mg/g (ST9), com média de 0,44mg/g. A distribuição espacial dos conteúdos maiores e menores de PT é muito similar entre o período seco e chuvoso de 2017 (Fig. 19AB) no estuário de Suape, entretanto, no de Ipojuca ocorre significativa diferença, com teores médios de PT comparativamente maiores no período chuvoso (0,44mg/g) que no período seco (0,32mg/g).

No caso dos percentuais de PO x PT, a figura 19(CD) indica para o sistema do Ipojuca em ambos períodos uma contribuição majoritariamente inorgânica (PO do PT <50%), ou seja, com percentuais de PO compondo a fração total, predominantes entre 0 e 20%. Estes valores de %PO do PT para o período seco e chuvoso, reforçam os indicativos, já observados para outros parâmetros, da influência do aporte de água doce do rio Ipojuca no sistema estuarino homônimo, visto que os aportes de PI advêm principalmente de fontes fluviais (DELANEY, 1998). No estuário de Suape, dado o baixo aporte fluvial efetuado pelo rio Massangana (< 2,0 m³/s: Silva, 2019), apresenta um padrão inverso, com predomínio de PO sobre o PI na maioria das amostras, com valores entre 80 e 100% na composição do fósforo total.

A figura 19(CD) indica também variações sazonais destes percentuais para ambos estuários. No caso do sistema Ipojuca ocorre uma diminuição média no percentual de PO em relação ao PT no período chuvoso (média abaixo de 40%), evidenciando o aumento do aporte fluvial para o PI nesta época do ano, em especial, do baixo ao alto estuário do Merepe. Na calha do rio Ipojuca essa proporção é distinta (STs 20, 21, 22, 23, 24, 1 e 2) com média %POxPT no período seco: 39,5 e período chuvoso: 48,85%. Estes altos valores se devem provavelmente ao fato do rio Ipojuca aportar muito PO dos esgotos domésticos sem tratamento do município de Ipojuca e demais cidades a montante. Os manguezais adjacentes também podem ser fonte de PO durante o período chuvoso.

5.4.4 Razões elementares C/P e N/P no período seco de 2017 (Indicativas de Origem da Matéria Orgânica e Limite da Produtividade)

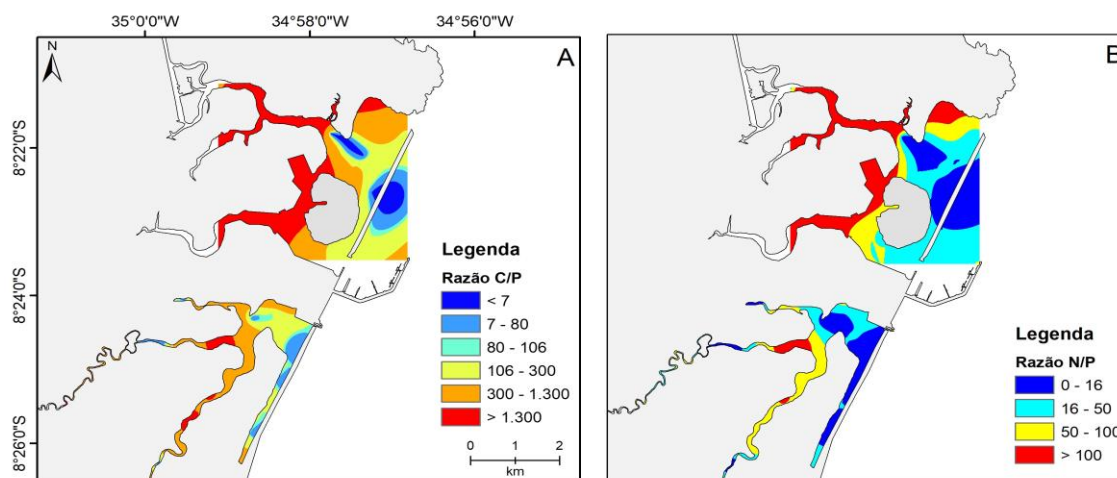
A razão elementar C/P segue uma proposta de classificação indicativa de fontes de material (Tab. 4), com base nas composições moleculares de cada fonte derivada de acordo Ruttenberg & Goñi (1997). No presente estudo foram obtidas razões elementares C/P para os estuários de Suape e Ipojuca (Fig. 20A), que variam de 14,95 a 10625,47, com média de 1291,29. Foi possível observar três estações com valores de 7 a 80, o que indica origem bacteriana (Tab. 4), sendo 1 em Suape (ST40) e 2 em Ipojuca (STs 19 e 26). Entre as razões de 80 a 300, foram 6 amostras, sendo 3 em Suape (STs 1, 2 e 11) e 3 em Ipojuca (STs 13, 14 e 15), o que denota origem marinha ou mista. Para a faixa de razão entre 300 a 1300, originários de tecidos foliares de plantas superiores, foram encontradas 14 estações, onde 5 se encontram no estuário de Suape (STs 3, 7, 18, 21 e 29) e 9 no Ipojuca (STs 8, 9, 11, 12, 21, 22, 23, 24 e 25). Para as estações com razões maiores que 1300, valores indicativos oriundos de tecidos lenhosos de plantas superiores, foram encontradas 8 estações no sistema, sendo 4 em Suape (STs 8, 9, 13 e 16) e 4 em Ipojuca (STs 4, 6, 7 e 20).

Tabela 4 - Interpretação da razão C/P, de acordo com Ruttenberg & Goñi (1997)

Razão C/P	Origem da matéria orgânica
7 a 80	Atividade Microbiana
80 a 300	Origem marinha ou mista
300 a 1300	Tecidos vegetais moles
> 1300	Tecidos vegetais duros

Fonte: A Autora (2019).

Figura 20 - Distribuição espacial dos valores das razões C/P (A) e N/P (B), no período seco de 2017, respectivamente



Fonte: A Autora (2019).

Santos *et al.* (2017), encontraram valores similares na bacia do rio Formoso, também em Pernambuco, com razões elementares que variaram no período seco entre 14,14 a 123015 e 16,31 a 11337 no período chuvoso. Na plataforma continental de São Paulo interna e média, Lima (2000) encontrou valores mais baixos para as razões C/P, entre 8 a 206, atribuindo as origens às fontes marinhas e mistas, além da origem bacteriana. Barcellos *et al.* (2005) encontrou para o sistema lagunar de Cananéia-Iguape, também no estado de São Paulo, razões entre 91 a 844, com valores predominantes entre 100 e 300.

O estudo da razão N/P é um importante parâmetro que cumpre a função de indicador de limitação para crescimento do fitoplâncton. De acordo com Karlsson *et al.* (2009), o estudo desses nutrientes como limitantes da produtividade, tem sido uma proveitosa ferramenta para o entendimento da ecologia em ambientes aquáticos e posteriores práticas de manejo.

Entretanto, nenhum processo biogeoquímico que limite a disponibilidade de N ou P para o fitoplâncton é exclusividade de algum desses ambientes. Existem diferenças ecossistêmicas entre ambientes de água doce e marinhos, tendo como exemplos no ciclo do N, a desnitrificação mais rápida em ambientes de água doce, enquanto no oceano, a fixação do nutriente é mais lenta (HECKY & KILHAM, 1988; DEVOL, 2003; TRIMMER & NICHOLLS, 2009).

Segundo Hecky & Kilham, (1988) e Philips, (2002), nos estudos de ambientes aquáticos, presume-se que o fitoplâncton de água doce seria limitado pelo P, já no ecossistema marinho, o N

que tende a ser limitante para o fitoplâncton.

Nos estuários de Ipojuca e Suape, a razão N/P variou de 1,79 a 1096,56, (Fig. 20B) tendo razão média de 95,5 no sistema inteiro. Quando analisados separadamente, o estuário de Suape tem razão média de 154,42, com 2 estações <16 (STs 2 e 40), das quais possuem características mais marinhas e indicativo de oligotrofia em relação ao N. No estuário de Ipojuca a razão média é de 52,94 e são 4 amostras com razões <16 (STs 13, 15, 19 e 26), todas também com características mais marinhas, na baía do Ipojuca e laguna de Muro Alto.

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados do tratamento dos dados sedimentares e geoquímicos foram feitos por meio de gráfico de PCA/PCO, onde todos os componentes sazonais foram agrupados para posterior análise. Também foram realizados testes de correlação de *Pearson* e análise PERMANOVA entre os fatores: estuários e período, onde houve diferença significativa entre os estuários e entre os períodos, com $p < 0,001$. Dentro do fator ‘estuário’ o período sazonal mostrou diferença significativa entre: período seco – Ipojuca x Suape; Período chuvoso – Ipojuca x Suape. A análise exprime uma diferença significativa entre os estuários; diferença significativa entre os períodos sazonais do Ipojuca e diferença significativa entre Ipojuca x Suape, tanto espacial quanto sazonal.

Quando cruzados os dados do estuário de Suape x Suape, não houve diferença significativa sazonal, conforme observado na figura gerada pelo PCO (Fig. 21). No caso da sazonalidade do Ipojuca (período seco) x Ipojuca (período chuvoso) ocorreram diferenças significativas, também corroboradas pela descrição dos resultados das figuras 16 a 18, relativas à distribuição das espécies de fósforo sedimentar, carbonato de cálcio e MOT no sistema estuarino.

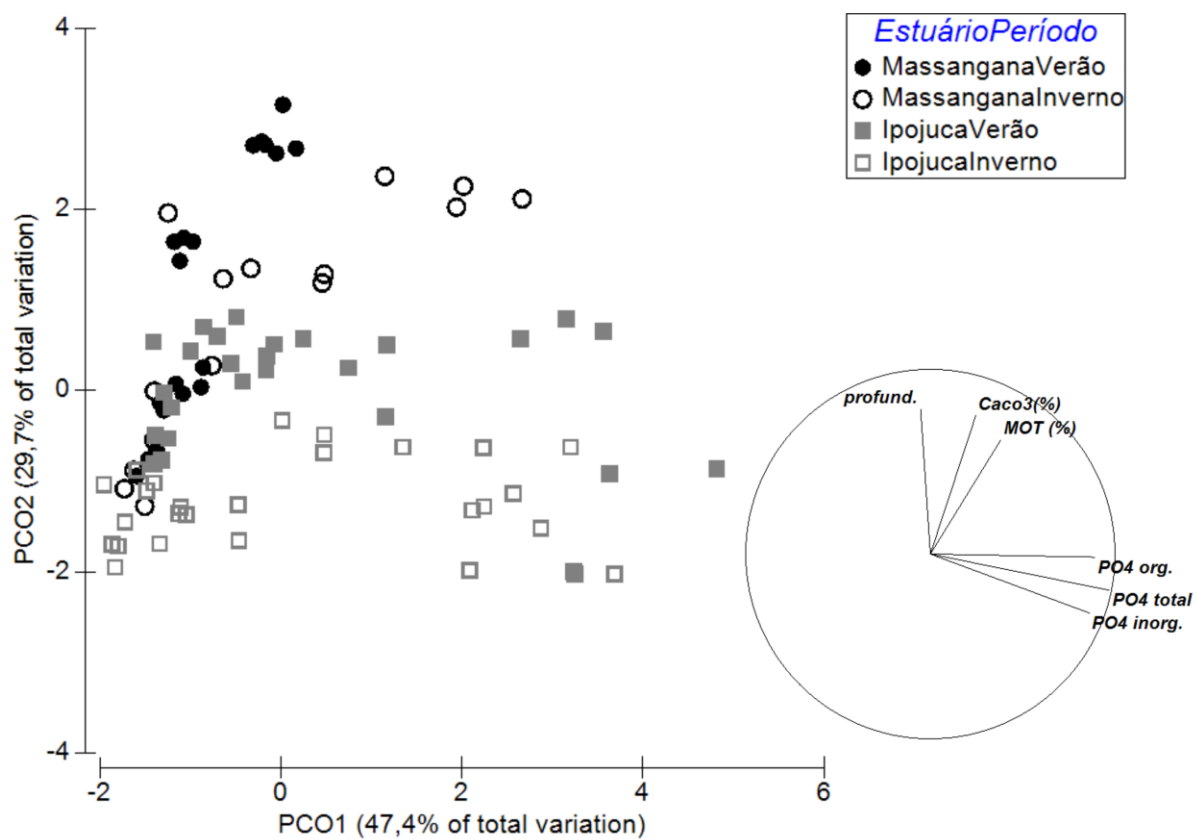
Ao analisar o gráfico do PCO, (Fig. 21) observa-se que no estuário do Massangana/Suape, tanto no período chuvoso quanto no seco, houve maior influência dos componentes CaCO_3 , MOT e profundidade. Já os teores de fósforo orgânico, inorgânico e total são mais associados ao estuário do Ipojuca, também nas duas estações. Na figura 22, foram analisados os parâmetros sedimentares e geoquímicos para os estuários, sem a componente sazonalidade. Foi observado espacialmente, uma tendência preferencial das 3 espécies de fósforo, ao estuário de Ipojuca, além dos componentes sedimentológicos: grau de seleção e phi médio, relacionando-os com os maiores teores de silte e argila. Para o estuário de Suape, os teores de CaCO_3 , MOT, como também o grau de assimetria e a profundidade, foram mais influentes nessa porção do sistema.

Tabela 5 – Tabela de Resultados da análise PERMANOVA

Factors						
Name	Abbrev.	Type	Levels			
Estuário	Es	Fixed	2			
Período	Pe	Fixed	2			
PERMANOVA table of results						
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms
Es	1	69,51	69,51	14,5	0,001	999
Pe	1	25,7	25,7	5,3611	0,001	998
EsxPe	1	13,742	13,742	2,8667	0,033	999
Res	83	397,88	4,7937			
Total	86	516				

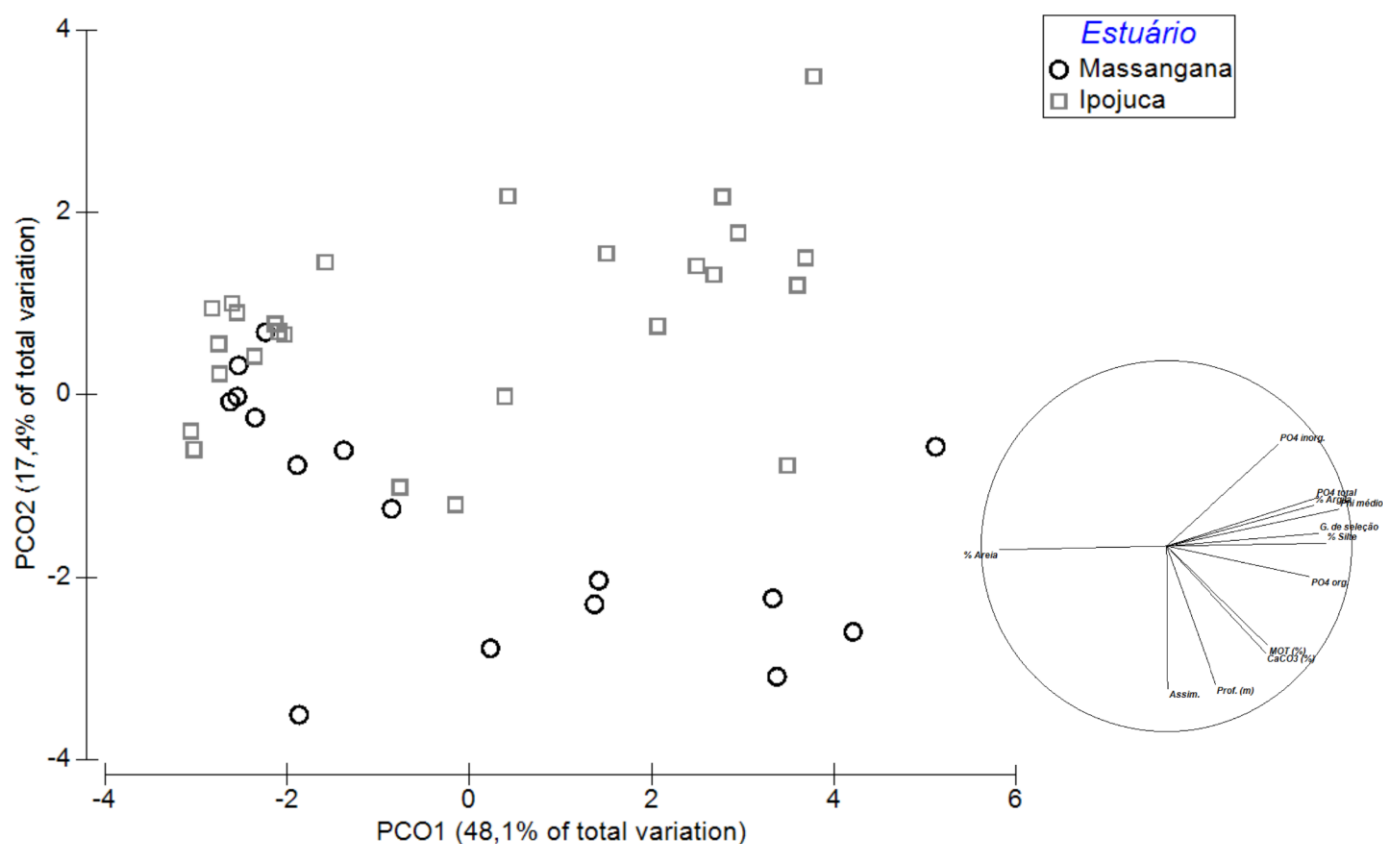
Fonte: A Autora (2019).

Figura 21 - Gráfico de PCO entre fatores estuário e sazonalidade



Fonte: A Autora (2019).

Figura 22 – Gráfico de PCO da distribuição sedimentológica espacial
 Fonte: A Autora (2019).



As análises de correlação de *Pearson* indicam uma forte correlação entre a porcentagem de sedimentos finos e os valores do diâmetro médio no sistema como um todo. (Tab. 6 e 7). Uma correlação moderada ($r^2= 0,58$) entre os valores de CaCO_3 e MOT, pode indicar uma fonte mista de aporte de material dentro desse sistema, tal qual observado por Oliveira et al. (2014) e Barcellos et al. (2016), para os estuários do Capibaribe e Jaboatão (PE), respectivamente.

Tabela 6 - Correlação linear de Pearson (r) sazonal.

Linear Correlation		Estação chuvosa					Estação Seca				
		CaCO ₃ (%)	MOT (%)	P inorg (%)	P org (%)	P total (%)	CaCO ₃ (%)	MOT (%)	P inorg (%)	P org (%)	P total (%)
Estação Chuvosa	CaCO ₃ (%)	1,00									
	MOT (%)	0,58	1,00								
	P inorg	-0,04	-0,06	1,00							
	P org	0,42	0,47	0,66	1,00						
	P total	0,22	0,23	0,90	0,92	1,00					
Estação Seca	CaCO ₃ (%)	0,41	0,24	0,03	0,12	0,08	1,00				
	MOT (%)	0,34	0,70	0,20	0,59	0,44	0,33	1,00			
	P inorg	0,17	0,10	0,97	0,75	0,94	0,14	0,30	1,00		
	P org	0,29	0,28	0,76	0,92	0,93	0,12	0,57	0,83	1,00	
	P total	0,24	0,19	0,90	0,87	0,97	0,14	0,45	0,96	0,95	1,00

Fonte: A Autora (2019).

Tabela 7 - Correlação linear de Pearson (r) espacial.

Correlação	phi médio	% Cascalho	% Areia	% Lama	MOT (%)	CaCO ₃ (%)	PO4 org.	PO4 inorg.	PO4 total
phi médio	1,00								
% Cascalho	-0,37	1,00							
% Areia	-0,88	-0,03	1,00						
% Lama	0,94	-0,22	-0,97	1,00					
MOT (%)	0,45	-0,18	-0,43	0,46	1,00				
CaCO ₃ (%)	0,40	0,36	-0,54	0,44	0,58	1,00			
PO4 org.	0,61	-0,20	-0,56	0,59	0,47	0,43	1,00		
PO4 inorg.	0,25	-0,12	-0,25	0,28	-0,06	-0,03	0,66	1,00	
PO4 total	0,48	-0,17	-0,45	0,48	0,24	0,23	0,92	0,91	1,00

Fonte: A Autora (2019).

6 DISCUSSÃO

Neste tópico é apresentada a discussão dos parâmetros do trabalho.

6.1 SEDIMENTOLOGIA E GEOQUÍMICA

A presença predominante de areias mais finas reflete a própria natureza dos sedimentos palimpsestos (McManus, 1975) que compõem, em sua maioria, a planície costeira e plataforma continental interna de PE. Essas areias finas seriam oriundas do retrabalhamento por ação marinha (ondas, correntes e marés) nos diferentes ciclos transgressivos/regressivos ocorridos no Quaternário (Manso et al., 2018).

O baixo grau de seleção reflete, por sua vez, os aportes naturais autóctones atuais de sedimentos terrígenos e da produção carbonática local. Os aportes terrígenos derivariam diretamente das rochas ígneas e vulcânicas do Cabo de Santo Agostinho (Lima Filho et al., 2006), refletido pela presença de um gradiente decrescente de areias grossas a finas a partir do cabo de Santo Agostinho, em direção ao canal dragado do porto interno. Este baixo selecionamento dos grãos se refletiria também pelo aporte atual de lamas. No estuário de Suape, as porções lamosas, 25% das amostras, se encontram no canal dragado do porto, nas áreas de batimetria mais profunda (-16m) (vide Fig. 15). O seu diâmetro médio apresenta variação do phi de -0,37 a 7,08; com média de 2,58 (areia fina). Na porção do Ipojuca, o material fino (silte e argila) corresponde a 34,6% das amostras. Estão espacialmente distribuídas entre a baía de Ipojuca e no alto estuário do rio Ipojuca, baixo estuário do rio Merepe e uma mancha na laguna do Muro Alto, com ambientes mais lênticos, e/ou mais próximas de região com ocorrência de mangue, que se correlacionam com maiores teores de matéria orgânica.

Quando investigada a ligação com o PT no sistema como um todo, existe uma correlação moderada ($r^2=0,59$) em relação ao teor de argila. Porém, quando investigado somente o lado de Suape, essa correlação ocorre de maneira forte ($r^2=0,87$) e no Ipojuca outra correlação moderada ($r^2=0,52$). Apesar dos três tipos de fósforo apresentarem maiores teores no Ipojuca, a correlação indica as condições preferenciais de deposição do PT associadas às ocorrências de materiais argilosos, sobretudo, na porção do estuário de Suape mais profunda e com maior acúmulo desses materiais.

Quanto aos conteúdos de CaCO_3 Coutinho (1976), cita que na plataforma continental de Pernambuco, as maiores quantidades se relacionam com a topografia local, que apresenta pouca profundidade ($< 60\text{m}$) e largura (33km). A plataforma curta e rasa, tende a uma maior dispersão dos materiais carbonáticos, o que torna a influência das marés adentrando o sistema mais dinâmica no período seco do que em outros locais da plataforma. Ao observar a figura 15AB na área de estudo, é notável a variação sazonal entre os dois sistemas, ao norte (Suape) e ao sul do porto (Ipojuca). Dados de Santos et al., (2018); Oliveira (2019), revelam maiores teores durante o período seco, uma vez que o aumento da temperatura contribui para o processo de precipitação dos carbonatos (GUNTER et al., 2004). Acontece também na mesma época, influência do ENSO no período seco de 2016/17 CPTEC (2019), que expressa uma menor pluviometria que as médias históricas. Com a consequente diminuição da contribuição fluvial, ocorre possivelmente o aumento da influência marinha em ambos estuários, como indicam os resultados nos quais foram verificados acréscimo na porcentagem deste parâmetro geoquímico.

No Nordeste do Brasil, Andriesse (1988) e Pereira (et al. (2005) citam a ocorrência de solos e sedimentos inconsolidados com alto teor de matéria orgânica, quando há uma relação com feições de zona costeira com condicionantes fluvio-marinhos, envolvendo também várzeas de planícies de inundação, e feições antigas de meandros abandonados, formações lacustres e vales fluviais.

Durante o período seco, dados de Oliveira (2017) mostram maiores teores de MOT concentrados no estuário de Suape ocorrendo nas áreas mais profundas do sistema, em quatro estações de coleta com batimetria entre $10,0$ e $11,7\text{m}$ no canal do Porto interno. Os valores mais expressivos estão em três estações entre o canal e a ilha de Cocaia e destas, a ST 9 atinge o maior valor de todo sistema, pois é a amostra mais confinada entre as instalações portuárias e industriais, que pode sinalizar uma fonte mais específica de poluição/contaminação, oriunda da proximidade com o efluente de estruturas do CIPS. Essa amostra apresentou um material lamoso, muito escuro, com características anóxicas, presença de folhas e alto teor de matéria orgânica ($39,6\%$), representado na figura 23.

Figura 23 - Amostra de sedimentos superficiais coletados em 23/07/2017 (GeoSub XIII) na estação de coleta ST09 (à esquerda.), adjacente ao efluente do estaleiro Vard-Promar (à direita).



Fonte: Barcellos (2019).

Quanto ao menor teor de MO no estuário de Suape, este se refere à estação 20, que se encontra na desembocadura do rio Massangana, onde o sedimento recebe maior dinâmica fluvial, oxidando e lixiviando a matéria orgânica que por ventura haviam-se adsorvido ao sedimento. De fato, Silva (2019) verificou um fluxo residual de saída de água do estuário do Massangana em direção à Baía de Suape pela margem norte do estuário, junto a Resort presente na região. Os sedimentos litoclásticos areno-granulares com baixos teores orgânicos aí presentes, somados à megamarcas onduladas que ocorrem na área (vide Fig. 9), seriam indicativos e estariam ajustados a este processo hidrodinâmico mensurado por Silva (2019).

Ainda sobre a MOT e CaCO_3 , ao observar os mapas da figura 17 em conjunto, o caráter sazonal do comportamento destes parâmetros fica muito evidente. No estuário de Suape não há variação sazonal nos teores de carbonatos, apenas ocorrendo um acúmulo sensível de MOT nas estações adjacentes ao porto interno, com enriquecimento relativo deste parâmetro no período seco (Fig. 17C), devido à diminuição da dinâmica sedimentar para esta época. No caso do sistema estuarino do Ipojuca ocorre, por sua vez, uma variação sazonal muito marcante indicada por ambos os parâmetros. A MOT e o CaCO_3 foram significativamente menores no período chuvoso do que no seco de 2017, o que se deve diretamente à maior influência do rio Ipojuca na área. Pardal et al. (2019 no prelo) observaram comportamento sazonal similar no estuário do Capibaribe, com diminuição dos teores orgânicos e de carbonatos no período chuvoso associados ao maior aporte fluvial. Este aumento no caudal do rio e do aporte estuarino no sistema, aumentaria a dinâmica sedimentar, inibiria a produção de CaCO_3 marinho e lixivaria a MOT observada no período seco anterior, refletindo-se nas marcantes diferenças observadas.

Durante o período seco, as maiores porcentagens de MOT foram obtidas na baía de Ipojuca (STs 12 e 13). Essas encontram-se adjacente às instalações de empresa que produz óleo vegetal (margarina), o que também pode indicar fonte pontual de poluição. Outras amostras com maiores teores estão localizadas no alto estuário do rio Ipojuca, na região meandrante e tem como características batimetrias de 0,2 e 0,5 m, sedimento lamoso, associado ao manguezal, vegetação de Mata Atlântica de planície e monocultura da cana; o que provavelmente resulta de ocupação urbana e dos materiais provenientes do sistema.

Com características similares, a estação 6, no médio estuário do rio Merepe, apresenta 0,5 m de batimetria e sedimento lamoso. Ela está localizada em um terraço de intermarés na área de sombra de meandro (margem convexa), onde o médio estuário se alarga, acarretando na diminuição das correntes e consequente deposição de finos e matéria orgânica sedimentar (MOS) (MOT, PT). Além disso, é adjacente à franja marginal do mangue e a pequenas ilhotas que colonizaram os bancos de areia locais. Consequentemente, o acúmulo de materiais como galhos e folhas em áreas mais rasas podem ocasionar efeito de represamento de águas; condições ideais para acúmulo de matéria orgânica.

Miranda (2019), em estudo no rio Merepe, observou para este estuário lagunar condições de baixos valores anuais constantes de oxigênio dissolvido e material particulado em suspensão, sugerindo a baixa qualidade de renovação das águas do estuário. Essa autora coloca que o estuário do rio Merepe é raso, ($< 2,0$ m) predominantemente limnético, possui baixa capacidade de transporte, elevadas concentrações de nutrientes inorgânicos, bruscas variações de oxigênio dissolvido e clorofila, indicando processo de eutrofização. Por fim, Miranda (2019) também observa um padrão sazonal que se assemelharia do observado para o norte do sistema (Massangana e Baía de Suape) com enriquecimento de PO em relação ao total, o que estaria diretamente ligado à PP local. A mesma coloca que as concentrações de clorofila a total estiveram entre $0.185 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $29.9 \mu\text{g.L}^{-1}$, para a clorofila a fracionada os valores estiveram entre 0.01 e $16.5 \mu\text{g.L}^{-1}$, e as maiores concentrações ocorreram durante o período seco.

Durante o período chuvoso, a retenção de lamas e MOT no estuário de Suape se deu nos pontos adjacentes ao porto interno e externo, que possivelmente se deve à baixa dinâmica de correntes de fundo nas maiores profundidades, aporte local de material antropogênico e de origem natural (Barcellos et al., 2018; Oliveira et al, 2019; Oliveira, 2019).

Quanto às discrepâncias sazonais no estuário do Ipojuca, também é possível atribuir esse efeito à diferença do aporte hídrico associado aos fenômenos de anomalias climáticas. Durante o

período seco de 2016 houve um forte evento de El Niño, onde esse evento diminuiu o volume pluviométrico acumulado nas bacias, (vide Fig.8), o que pode ter refletido nos teores mais baixos das 3 espécies de fósforo e no aumento de CaCO_3 e MOT no período seco de 2017. Outro dado singular é que, durante as coletas do período chuvoso (2017), houve um fenômeno moderado de La Niña, precipitando um volume acima da média histórica calculada para o mesmo período (APAC, 2019). Esse fator teria se refletido na diminuição da MOT e CaCO_3 e aumento do PI, PO e PT, especialmente, para o sistema estuarino do Ipojuca no período chuvoso de 2017.

6.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DO FÓSFORO SEDIMENTAR

No estuário de Suape, as amostras com maiores teores de PT se encontravam no canal do porto interno, em maior relevância: uma no local destinado a entrada dos navios, no quebra-mar onde atracam para espera de abastecimento no porto externo (ST 29) e na estação 7 (Vard-Promar), onde foi observado, sobretudo no período chuvoso, maior adsorção do fósforo inorgânico e orgânico. A disponibilidade do PI no período chuvoso é entendida como de origem natural, lixiviado e trazido apenas pelo rio Massangana, uma vez que essa estação está associada ao “braço morto” e represado do rio Tatuoca, não servindo como fonte de aporte terrígeno para essa localidade. Quanto ao aporte orgânico, este pode derivar de poluentes químicos provenientes da construção de navios nos estaleiros. Esse indicativo pode ser melhor embasado ao analisar as proporções de MOT, que durante o período chuvoso diminuem, mas nestas estações adjacentes aos estaleiros, as proporções de PO assim como o PI, também crescem em relação ao período seco anterior.

No porto interno, a poluição orgânica por óleo nos sedimentos do sistema estuarino de Suape, pode estar ligada à circulação de navios, gerando resíduos liberados pelas atividades dos estaleiros. A poluição por óleo na Baía de Suape e rio Massangana é provavelmente derivada de descargas e/ou vazamento por embarcações (Lemos et al. 2014). Para a atividade ética e legal do estaleiro, seus resíduos devem ser descartados em um aterro industrial, que recebem rejeitos como: lodo galvânico, resíduos contaminados com óleo, sobra de tinta, borracha, resinas, cinzas de caldeira, lodo de fosfatização, pó de polimento, entre outros compostos. Devem seguir uma rigorosa aplicação de impermeabilidade no solo que recebe esses contaminantes e quando não estão em acordo com as normas vigentes, servem como ponto de poluição (FERRARO et al. 2011).

Ao analisar a figura 18 em conjunto, observam-se variações sazonais em ambos parâmetros e para as duas áreas, o que denota a grande influência fluvial ao sul do Porto, oriunda do aporte do rio Ipojuca, em especial, no período chuvoso. Se excetua o comportamento do PI na Baía de Suape que apresentou um maior enriquecimento no período seco de 2017, quando comparado ao período chuvoso, porém em baixos níveis médios: 0,08mg/g x 0,03mg/g (Fig. 18AB), e muito puxado por um enriquecimento localizado de PI, nas amostras do canal interno do porto. Os demais dados de PI e PO sazonais obtidos mostram, por sua vez, uma significativa variação sazonal devido ao maior aporte fluvial, que pode ser detectado no estuário Ipojuca pelos maiores teores de PI na estação chuvosa (Fig. 18B). No caso do PO, a figura 18 (CD) mostra um grande enriquecimento desta fração de fósforo para ambos estuários no período chuvoso. O que estaria ligado ao enriquecimento de nutrientes na coluna d'água promovido pelos aportes fluviais, refletindo-se em uma maior produtividade primária (PP), eutrofização do sistema no período chuvoso e que se refletiria nos maiores teores médios de PO observados nos sedimentos superficiais. De fato, Barcellos (2005), Barcellos et al. (2005) e (Miranda, 2019) observaram comportamento sazonal similar para o sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP), bem como detectou-se um aumento da PP e eutrofização no sistema do Rio Merepe no período chuvoso de 2017. Miranda (2019), cujas coletas da PP foram executadas simultaneamente às do fósforo sedimentar no cruzeiro GeoSub XIV, em 29 agosto de 2017, de fato atribui que o aumento da PP estaria diretamente relacionado ao aporte de nutrientes de origem fluvial na laguna estuarina do Merepe para este período sazonal.

Os maiores teores de todas as frações de fósforo (PO, PI e PT), estão contidas no estuário de Ipojuca. Em geral, esse predomínio ocorre no período chuvoso, obtendo maior valor no PO e PI. Em contrapartida aos teores de P altos no período chuvoso, os valores de MOT diminuem significativamente no período chuvoso, indicando um aporte fluvial/natural do fósforo (vide figs. 17, 18 e 19).

No Ipojuca, os valores de fósforo total (PT) foram maiores no período seco, porém, de forma mais localizada e pontual, em estações específicas que repetem padrões preferenciais de deposição (STs 9, 12, 21, 22 e 23). Esses locais são os que atingem maiores valores de PO e PI simultaneamente, comprovado por correlação forte entre esses valores, onde: $r^2 = 0,83$ (Tab. 6), indicativo de locais preferenciais de adsorção desse nutriente ao sedimento mais fino, em ambas as formas.

No Sistema Ipojuca, três dos maiores valores do PO e PI estão localizados no alto estuário, (ST 21, 22 e 23) nos meandros do rio, o que também responde aos maiores teores de fósforo total (PT). As condições físico-químicas dos meandros apresentaram pouca transparência da água medida pelo disco de secchi (aproximadamente 0,2m), pouca profundidade e acúmulo de material lamoso, além da forte influência fluvial indicados pelos dados da razão C/P e valores mais altos de PI e PT.

Quando considerado o PT, ambos períodos (chuvoso e seco) (vide Fig. 19AB) apresentaram valores $>0,8$ mg/g, mas com variações específicas sazonais de PO e PI entre as 3 estações supracitadas. Isso ocorre devido à particularidade dessa feição hidrográfica meandrante, localizada no alto estuário do Ipojuca, onde a ação fluvial trabalha tanto na erosão, quanto no acúmulo de material. O alto teor do fósforo orgânico deve estar associado às condições favoráveis para o aporte oriundo do ecossistema local (mangue e fauna estuarina), que garantem contribuição significativa e perene de matéria orgânica sedimentar. Nas suas 3 amostras, as características estuarinas são de baixa profundidade e em duas destas, (STs 21 e 22), apresentam material mais fino (lama $>60\%$). O fósforo inorgânico é proveniente de rochas fosfatadas da Formação Estiva (carbonatos marinhos) (Lima Filho et al., 2006) e que vem sofrendo intemperismo pela ação do rio Ipojuca, esculpindo seu talvegue em seu baixo vale, disponibilizando esse nutriente conforme os detritos são carregados pelo rio.

Outra região de comportamento peculiar é na zona de transição entre o rio Merepe, rio Ipojuca e baía do Ipojuca (ST9), regiões de baixos estuários dos rios, nos quais as duas formas do fósforo possuem valores acima da média durante o período seco. O local apresenta altos teores orgânicos por localizar-se na zona de máximo de turbidez (ZMT) local onde há a confluência dos fluxos de maré e fluviais das várias calhas que compõem o sistema Ipojuca, podendo ser considerado como o principal depocentro desta porção do sistema. Na foz do estuário do Ipojuca, seu canal possui uma profundidade um pouco maior (3,5m na ST 4), que ao desaguar na baía causa uma diminuição batimétrica abrupta. Na ZMT, outro afluente do Ipojuca, além do rio Merepe, também conflui para a baía, formando um banco de areia ao reter grande volume de sedimento carregado do curso fluvial, que podem ainda ser alteradas pelas correntes de marés (ALLEN et al., 1980). A circulação estuarina então retém uma quantidade considerável de sedimento formando um banco de areia, onde sua profundidade se reduz de 3,5m para 1,6m. O aporte misto de P se deve ao efeito das correntes dos rios, onde os braços d'água causam uma descarga na baía, que influi na circulação, gerando turbidez e formando diferentes gradientes de densidade. Devido à mistura com

a água marinha que também adentra a baía, a salinidade e temperatura formam esses gradientes verticais e longitudinais, que tendem a ser modificados sazonalmente pela diferença de contribuição das águas fluviais e marinhas (MARONE et al., 1995).

Tais condições tornam essa estação significativa quanto a sua distribuição sazonal. Durante o período seco, o aporte orgânico proveniente do estuário é tão influente quanto as contribuições inorgânicas oriundas do transporte fluvial, onde seu valor do PI e PO obtiveram teores próximos, de 0,47 e 0,40 mg/g respectivamente. Enquanto que no período chuvoso, a contribuição fluvial para a ST 9 é muito expressiva. Seu valor de PI sinaliza mais do que o dobro de sua quantidade no período seco (1,01 mg/g), dessorvendo o PO do sedimento, que durante a estação chuvosa reduz para 0,28 mg/g. Na baía de Ipojuca, 1 amostra (ST12) apresentou alto valor de PT ($>0,90$), em ambos períodos. No local funciona uma indústria de alimentos, que produz óleo vegetal (margarina) e possivelmente os altos índices são um indicativo ambiental de seus rejeitos e efluentes industriais, que possui emissário ativo avistado durante a coleta.

No estuário de Suape, no período seco, os teores de PT não ultrapassam 0,12 mg/g, com exceção de 4 estações que se encontram no canal do porto, em 3 amostras com PT = 0,61; 0,50 e 0,46 mg/g (STs 7, 8 e 9) que ficam entre a ilha de Cocaia, estaleiros Promar e Atlântico Sul, como também na estação que se encontra na entrada do canal (ST 29) de PT = 1,01 mg/g, na plataforma interna adjacente. Para o período chuvoso essas estações também se destacam como as de maior valor, não expressando diferença sazonal, conforme comprovado pelas análises estatísticas. Esses maiores teores orgânicos localizados, podem estar relacionados às ações de dragagens, as quais ressuspenderam os sedimentos, sendo derivadas da abertura do canal do Porto. O que provocaria turbidez na coluna d'água, alterando características naturais locais. As 4 estações de coleta referidas apresentaram valores discrepantes de lama e MOT em relação às demais, visto que as maiores profundidades tenderam a acumular material fino. Pettijohn (1975), afirma que as argilas, principalmente, tendem a adsorver quatro vezes e o silte duas vezes mais matéria orgânica e metais do que as areias. O que se refletiu nas significativas correlações entre as argilas e a MOS nos sistemas estuarinos estudados.

As demais estações no estuário de Suape também não possuem diferenças sazonais entre elas, visto que o teste de “pair-wise” entre os fatores “Suape” e “Períodos”, indicou na PERMANOVA $p = 0,102$ ($>0,05$ e portanto, não significativa para análise sazonal). Por fim, quando cruzados os dados estatísticos entre o comportamento sazonal Ipojuca, ele resulta em discrepante para os períodos seco x chuvoso. Se comparados também as diferenças espaciais dos sistemas, a

leitura estatística para os estuários de Ipojuca x Suape, mostra que a discrepância entre os fatores é relevante tanto espacialmente quanto sazonalmente, conforme análise PERMANOVA descrita na tabela 5.

6.3 REGIME HÍDRICO E EVENTOS DE OSCILAÇÃO NO PERÍODO INTERCOLETAS

De acordo com a APAC (2019), o posto: Cabo - Barragem de Suape, registrou entre os meses precedentes à coleta de verão: de outubro de 2016 até o dia da coleta na estação seca (março de 2017), pluviometria de 142 mm. Durante esse período, ocorreu um forte evento de El Niño, onde a pluviometria foi menor e discrepante em relação à média de outros anos. Segundo dados da APAC (2019), a média histórica revela um somatório de 515mm para o mesmo período de 6 meses. Já entre os demais dias de março (pós-coleta de verão) até dia da coleta de período chuvoso, em agosto de 2017, ano seguinte e que ocorreu um evento de La Niña (2017), o somatório da pluviometria foi de 1909,5 mm. Volume acima da mesma média histórica calculada para o período chuvoso (2017), de 1406mm.

Segundo dados do CPTEC (2019), foram registradas nas últimas duas décadas ocorrência de fenômenos de La Niña, nos anos de 2000, 2008, 2011 e 2017, com respectiva pluviometria de 2665mm, 2179,2mm e 2451,3mm e 2184,2mm ao ano. O fenômeno de La Niña no ano da pesquisa foi classificado como moderado, entretanto, acima dos 2000mm, volume maior que a média local nessas duas décadas de dados investigados. No caso do último El Niño vivenciado em 2016, este foi de intensidade forte e histórica, havendo apenas um fenômeno mais forte em proporção, entre de 1997/98. Analisando os dados, é possível inferir que o fenômeno de El Niño foi mais expressivo quanto à diminuição no volume de chuvas, do que o de La Niña de 2017 no aumento da pluviometria.

A presente pesquisa utilizou dados do período seco de 2017, sobre fortes efeitos do ENSO positivo do ano anterior, precedendo a um evento de La Niña durante o ano do presente estudo, momento atípico na coleta de dados. Portanto, conclui-se que tais eventos intensificaram um efeito sazonal ainda mais marcante entre os períodos seco x chuvoso sobre o regime hídrico da bacia (Fig.6) fato esse, que gerou contraste nos resultados sazonais dos parâmetros sedimentares e geoquímicos apresentados neste estudo.

6.4 RAZÕES C/P e N/P e o FÓSFORO SEDIMENTAR COMO INDICATIVO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Para Ruttenberg & Goñi (1997), o emprego da razão elementar C/N é mais comum que a razão C/P devido a dois fatores: (1) a maior facilidade em obter valores do nitrogênio (N) através de um analisador elementar, em contrapartida ao fósforo que não possui metodologia de simples extração; (2) as razões de plantas aquáticas e bactérias podem apresentar maior variação devido ao consumo e armazenamento por algas e bactérias. Para Ruttenberg & Goñi (1997) e Ruiz-Fernandez et al. (2002), isso significa que a razão C/P pode não estar associada a uma dicotomia fitodetrítos continentais x fitoplâncton, onde outros componentes geoquímicos e organismos, como bactérias, podem influenciar nos valores.

Quando o fósforo sedimentar é extraído, a razão C/P se mostra um importante parâmetro para análise da origem da matéria orgânica, uma vez que estudado em conjunto com outros parâmetros, pode se mostrar um bom indicador de poluição ambiental (Ruttenberg, 1992).

Ao observar o mapa de distribuição das razões C/P nota-se um padrão de distribuição que segue um gradiente das porções mais internas de ambos estuários com características bem continentais (>1300), seguindo para características transicionais marinhas em todos os baixos estuários, canal do porto e baías de Ipojuca e Suape, e por fim, para características marinhas (106) na plataforma interna adjacente à Suape e laguna de Muro Alto. Diferente das amostras adjacentes, uma estação indicativa de razão C/P de origem bacteriana (7-80) ocorre na ST 19 em Muro Alto, defronte a dois Complexos Hoteleiros e Resorts instalados à beira da laguna. Esses valores derivam de uma amostra areno lamosa com características anóxicas em subsuperfície (Fig. 24) coletada no período seco de 2017. Essas características poderiam indicar registros de impactos associados às atividades dos Resorts, mas precisam ser melhor averiguadas por meio de outros indicadores ambientais de poluição.

Figura 24 - Amostra de sedimentos superficiais coletados em 29/08/2017 (GeoSub XIV) na estação de coleta ST19, adjacente aos resorts de Muro Alto.



Fonte: Barcellos (2019).

A predominância deste tipo de material componente da matéria orgânica sedimentar ocorrente no sistema como um todo, seria reflexo dos aportes diretos de material de origem terrígena oriundos da contribuição direta de fontes diversas tais como: dos bosques de mangue, da Mata Atlântica de planície, da monocultura de cana-de-açúcar; e alóctone de origem natural fluvial, incluindo os aportes de efluentes do esgoto urbano (Ipojuca/Cabo de Santo Agostinho) e industrial (Pólo Industrial-Portuário de Suape). Esse último exemplo pode ser melhor embasado ao associá-lo à distribuição da MOT em relação aos teores de fósforo orgânico nos estuários. Durante o período chuvoso, as estações próximas aos estaleiros, assim como no médio estuário e baía do Ipojuca tendem a apresentar maiores valores de PO, ao contrário dos teores de MOT que diminuem para ambos estuários no período chuvoso.

Como observado por Bothwell (1985), Stelzer & Lamberti (2001), Vidal et al. (2003), Cotovicz Júnior (2013), razões N/P desproporcionais à de Redfield, podem indicar qual nutriente limita a produtividade. O fósforo é atribuído como nutriente limitante quando sua razão é $> 16:1$. Já quando a proporção é menor, o N é limitante. Nesta última condição, o nutriente favorece o crescimento de espécies capazes de fixá-lo de sua disponibilidade atmosférica, como as cianobactérias por exemplo, podendo indicar, por tanto, um ambiente eutrofizado.

As estações: 2 e 40 de Suape; 13, 15 e 26 de Ipojuca, possuem razões elementares N/P < 16 , indicando que o nitrogênio é possivelmente limitante no crescimento do fitoplâncton para essas estações. Quando essa razão é baixa, é importante investigar fonte de eutrofização pelos teores de P. Se ele está excessivamente disponível, pode ocasionar aumento no nível trófico, pois o nitrogênio na atmosfera também se disponibiliza para seres fitoplanctônicos se desenvolverem, tal qual observado por Miranda (2019) para o estuário do Rio Merepe.

Rabalais (2002), corrobora com os resultados observados na fig. 20B, onde na interface estuário-litoral, tanto o nitrogênio quanto o fósforo se apresentam como nutrientes limitantes. Nas porções do estuário com contribuição majoritariamente fluvial, o P tende a ser o limitante para produtividade, mas à medida que o gradiente de salinidade se altera, o N passa a ser o principal nutriente limitante de produtividade primária e acúmulo da biomassa fitoplancônica.

6.5 COMPARAÇÃO DO FÓSFORO SEDIMENTAR EM SUAPE/IPOJUCA COM OUTROS SISTEMAS ESTUARINOS E COSTEIROS MUNDIAIS

Um levantamento mundial das regiões estuarinas (tabela 8), pode ser tomado como parâmetro para comparar as quantidades mínimas e máximas de fósforos em suas frações orgânicas, inorgânicas e totais entre os sistemas estuarinos do CIPS (Suape e Ipojuca). As concentrações observadas na literatura, apresentam teores, na sua maioria, dentro dos parâmetros adequados de acordo com os parâmetros estabelecidos por órgãos ambientais.

A revisão bibliográfica mostra que seus máximos valores estão entre faixas de: 0,125 a 2,011 mg/g para o PI; 0,058 a 0,783 mg/g para o PO e 0,157 a 2,297 mg/g para o PT. Os valores obtidos neste estudo se encontram, em pequena escala, maiores que as médias apresentadas em outros trabalhos, mas dentro de valores vigentes normativos para esses teores. Os valores referenciais máximos para o fósforo total são descritos na resolução CONAMA nº 454 (2012) e em Roberson & Stevens (2013), como ideais até 2 mg/g. Robertson & Stevens (2013), apresentam ainda, valores de advertência para monitoramento, onde os teores devem permanecer <1,3 vezes a média do ano base mais alto.

O estuário de Santos-São Vicente, SP (BERBEL, 2008) apresentou o maior valor de PI e consequentemente de PT, sendo o único a ultrapassar o valor máximo adequado para estuários. Dentro do valor considerado como adequado, o estuário de Ipojuca apontou maior valor de PO, sendo este obtido dentro do estudo sazonal, no período chuvoso. Tal comportamento, entretanto, é pontual para esta amostra, estando os demais valores do estuário dentro de uma faixa de 0,000 a 0,568mg/g. Este valor discrepante durante o período chuvoso, pode indicar aporte fluvial de matéria orgânica, uma vez que essa amostra (ST 21) se encontra nos meandros do alto estuário do Ipojuca, no limite superior do manguezal; ou ainda, antropogênicos derivados de efluentes domésticos, agrícolas e/ou industriais lixiviados por um rio que corta grande extensão de Pernambuco longitudinalmente (330km). Vale salientar que o presente trabalho representa o dado

mais atual dos demais, como o estudo do estuário Hooghly, na Índia (1993) ou Yangtze, em Xangai (2001), com valores de PT que não ultrapassam 0,98mg/g. Uma amostragem atualizada pode ser fator considerado para discrepância dos dados, devido à exponencial demanda da expansão urbana e consequente pressão antrópica sobre o estuário.

Outro ponto relevante é a atualização da metodologia do fósforo, nutriente de difícil extração quando comparado a outros nutrientes que podem ser retirados via analisador elementar. Estas argumentações podem se embasar, inclusive, nos dados de Protázio et al. (2004), com PT máximo de 0,504mg/g para o estuário do rio Bacanga, no Maranhão, em comparação ao dado de Nunes (2013), que obteve 1,466mg/g de PT para o mesmo estuário, 9 anos depois. Em geral, observando os dados referenciais, é possível considerar os teores do fósforo sedimentar para os estuários do CIPS compatíveis com outros sistemas estuarinos tropicais e subtropicais do mundo.

Tabela 8 – Concentração de fósforo sedimentar em outros estuários no mundo

Área de estudo	Concentrações de fósforo sedimentar (mg.g ⁻¹)				Trabalhos
		PI	PO	PT	
Estuário de Suape (PE)	Mx	0,492	0,588	1,007	O presente estudo
	Mn	0,000	0,000	0,000	
Estuário de Ipojuca (PE)	Mx	1,009	0,783	1,379	
	Mn	0,000	0,000	0,000	
Estuário de Hooghly -Índia	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	
Baía de Todos os Santos -BA	Mx	x	0,493	x	Barcelos et al., 2014
	Mn	x	0,003	x	
Estuário do Rio Formosa -PE	Mx	0,186	0,315	0,217	Santos 2016
	Mn	0,000	0,000	0,003	

Fonte: Adaptado de Pardal (2019).

7 CONCLUSÕES

Este projeto foi idealizado visando registrar um possível padrão espaço-temporal de distribuição do fósforo sedimentar nos estuários que compõem a área de pesquisa. De fato, foi observado um padrão sazonal e espacial, onde o sistema do Ipojuca apresentou maior influência que o de Suape na deposição das três frações de fósforo para o ano de 2017.

No Ipojuca, os teores de PI foram maiores no período chuvoso, ocorrência inversa ao estuário de Suape, que nesse período obteve diminuição dos teores de PI (valor médio $<0,03\text{mg/g}$), pela baixa vazão ($< 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$; Silva, 2019) do rio Massangana, e nula do rio Tatuoca. No período seco, devido à diminuição do aporte fluvial, o Ipojuca apresentou teor médio de PO praticamente igual ao do PI, com correlação: $r^2=0,82$, demonstrando uma tendência espacial preferencial na deposição desses dois tipos de nutrientes. Ao analisar o PT, os maiores teores, tanto no período chuvoso quanto no seco, são encontrados no estuário de Ipojuca. Observa-se que estes valores foram ainda maiores no período chuvoso, o que não ocorre no estuário de Suape, com similaridade no padrão de distribuição sazonal evidenciado no mapa. Tal fator ocorre pela maior contribuição hídrica durante o período chuvoso, que lixivia PI das rochas fosfatadas. Segundo Salomons & Gerritse (1981), o PO não representa a forma dominante do fósforo em sedimentos marinhos, geralmente representando 25% do PT (SALOMONS & GERRITSE, 1981).

Ao investigar as demais características geoquímicas para o estuário de Suape, o teor de CaCO_3 , não apresentou variação sazonal, assim como na MOT, que ocorreu apenas um acúmulo discreto nas estações no canal interno do porto, entre Cocaia e os estaleiros VARD Promar e Atlântico sul. Em Ipojuca, a variação sazonal foi evidente para os dois parâmetros; decresceram no período chuvoso enquanto a contribuição do rio Ipojuca aumentou. As frações de fósforo tiveram tendências contrárias ao aumentarem no período chuvoso, evento indicativo de pontos propícios à eutrofização e aumento de contribuição de PI por via fluvial.

Quanto aos parâmetros sedimentológicos, para a granulação observada os diâmetros observados no período chuvoso de 2017, a maioria das amostras é composta por areias finas, siltes e argilas, com material lamoso predominante no estuário de Ipojuca, associado ao maior aporte fluvial deste sistema. A maior ocorrência das espécies de fósforo nesse estuário se deve à preferência de adsorção desse nutriente aos grãos sedimentares mais finos. O grau de seleção ocorre na maioria das estações como moderadamente, seguido de pobremente selecionado. Por fim, estudos estatísticos foram feitos agrupando todos os parâmetros comuns dos dois sistemas, em

fatores de “período sazonal” e “estuário”. Os resultados obtidos para os sistemas estuarinos do CIPS, apresentaram diferenças significativas entre os padrões espaciais e sazonais para os estuários de Ipojuca x Massangana, mas entre os mesmos estuários, a diferença sazonal somente ocorreu para o estuário de Ipojuca.

Uma vez entendida essa dinâmica em um estuário que recebe fortes cargas de efluentes provenientes da ação antrópica, foi possível utilizar o fósforo como parâmetro para um diagnóstico ambiental a partir do comportamento das suas concentrações nos sistemas estuarinos, trazendo assim, relevância no âmbito da avaliação de recursos geológicos marinhos e consolidação de conhecimentos pouco explorados na região. Esta dissertação trouxe informações inéditas com a análise de um dos mais importantes parâmetros geoquímicos, o fósforo sedimentar em suas formas orgânica, inorgânica e total.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Diagnóstico socioambiental e ZEEC** – Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro – Litoral sul de Pernambuco. Recife: CPRH, 2001. 156 p.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Projeto orla:** perfil socioeconômico e ambiental do Cabo de Santo Agostinho - PE. Recife: CPRH, 2003. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/pnma2/projeto-orla-cabo/3.2.2ecossistemas-relevantes.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2019.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco**. Recife: CPRH, 2002. cap. 3, p. 71. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/Ipojuca2002.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2019.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco em 2009**. Recife: CPRH, 2010. 96 p.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. **Síntese ecológica:** caracterização do complexo estuarino-lagunar da área de Suape (Pernambuco-Brasil). Recife: CONDEPE/FIDEM, 1983. v. 1.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias hidrográficas:** bacia do Rio Ipojuca. Recife: APAC, 2019. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?pageid=5&subpage_id=17. Acesso em: 1 mai. 2019.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento pluviométrico Suape**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso: 13 mar. 2019.
- ALEXANDRE, M. R., HUANG, Y., MADUREIRA, L. A. S. Avaliação de compostos orgânicos em sedimentos superficiais da baía de Babitonga, Santa Catarina, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 20(2)208-218, 2006.
- ALONGI, D. M. Coastal Ecosystem Processes. **CRC Marine Science** p. 419. 1997.
- ALLEN, G. P., J. C. SALOMOM, P. BASSOULER, Y DE PENHOAT E C. DE GRANDPE. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. **Sedimentary Geology**, 26:69-90. 1980.
- ALMEIDA, C. B., CRUZ, L.R., JARDIM de SÁ, E.F., VASCONCELOS, P. M. P., MEDEIROS, W.E. Tectônica e relações estratigráficas na sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: contribuição ao conhecimento do Rifte Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 13, n. 2, p. 167-180, 2005.

ALMEIDA, L. P. **Análise da efetividade dos estudos ambientais: o caso do complexo industrial portuário de Suape**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

ANDERSEN, J. M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Res.**, 10, p. 329-331, 1976.

ANDRADE, G. O. ; LINS, R. C. **Pirapama: um estudo geográfico e histórico**. Recife: Ed. Massangana, 1984. p. 65. (Estudos e Pesquisas, 31).

ANDRIESSE, J. P. **Nature and management of tropical peat soils**. Rome, FAO, 1988. (FAO Soils Bulletin, 59).

ASSIS, H. M. B. **Cartografia geomorfológica do município do Cabo de Santo Agostinho/PE: série cartas temáticas**. Recife: CPRM/FIDEM, 1999. v. 4, p. 32.

BARCELLOS, R. L.; BERBEL, G.B.B.; BRAGA, E. S.; FURTADO, V. V. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia-Iguape, estado de São Paulo, Brasil. **Geochim. Brasil.**, 19(1)022-036. 2005.

BARCELLOS, R. L.; BRAGA, E. S.; FURTADO, V. V.; BERBEL, GLAUCIA 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. 05, p. 14511467, 2014.

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**, 2, V. 2, P. 1073–1077, 2006.

BARCELLOS, R. L.; MONTES, M. J. F.; ALVES, T. M. F.; CAMARGO, P. B. Modern sedimentary processes and seasonal variations of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 5, p. 38-42, 2016.

BARCELLOS, R. L. **Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)**. 2005. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BARCELLOS, R.L.; SANTOS, L. D.; OLIVEIRA, T. R. S.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA, J. C. A. Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial-Portuário de Suape (PE). **Parcerias Estratégicas** (impresso), v. 23, p. 169-188, 2018.

BARCELLOS, R. L. **Sedimentação Holocênica na Região de Influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)**. Recife, 2014. (SUAPE-GEOSUB. FACEPE, 20).

BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p.227.

BARROS, L.C. **Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna no porto de Suape – PE**. 2009. Tese (Doutorado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. 186 p.

BARROS, L.C., VALENÇA, L.M.M., SOUZA NETO, J.A. Composição mineralógica da fração argilosa nos sedimentos superficiais de fundo da região estuarina do complexo industrial e portuário de Suape (PE). **Estudos Geológicos** v. 13: 23-34. Doi: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v25n1p165-174. 2015.

BARROS, L.C., VALENÇA, L.M.M., SOUZA NETO, J.A. Diagrama de Pejrup para interpretação da dinâmica estuarina no entorno do porto de Suape (PE). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 27., 2017, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SGN, 2017. ISBN: 978-85-99198-17-9.

BATURIN, Phosphorus cycle in the ocean. *Lithology and Mineral Resources*, Vol. 38, N. 2, p. 101–119. **Translated from Litologiya i Poleznye Iskopaemye**, N. 2, 2003, p. 126–146. 2003.

BERBEL, G. B. B. **Estudo do fósforo sedimentar e suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e plataforma continental sudeste (Brasil) e Baía do Almirante (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas**. 2008. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 283 p.

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. *Oceanografia e mudanças globais*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3., 2008. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2008.

BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G.S.; FLEXOR, J.M. Quaternary marine formations of the coast of the state of Bahia (Brazil). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE A EVOLUÇÃO COSTEIRA NO QUATERNÁRIO, 1979, São Paulo. **Atas [...]**. São Paulo, 1979. p. 232-2253.

BOTHWELL, M. L. Phosphorus limitation of lotic periphyton growth rates: An intersite comparison using continuous-flow troughs (Thompson River system, British Columbia). **Limnol. Oceanogr.** 30: 527–542. 1985.

BRAGA, R. A. P. **Situação atual e perspectivas dos manguezais no nordeste brasileiro**. Trabalho apresentado no I Simpósio Brasileiro Sobre Uso, Manejo e Conservação de Manguezais. João Pessoa, 1994.

BRAGA, R. A. P.; UCHOA, T. M. M. & DUARTE, M. T. Impactos ambientais sobre o manguezal de SuapePE. **Acta Botânica Brasilica**. Anais do XL Congresso Nacional de Botânica. 3 (2): supl. 9 a 27. 1989.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A Zona Costeira e seus usos múltiplos**. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/a-zona-costeira-e-seus-multiplos-usos>. Acesso em: 9 set. 2016.

BRYON, M. E. Q. **Desenvolvimento urbano x meio ambiente**: a relação da ocupação espaço

urbano com os recursos naturais remanescentes. O caso das áreas estuarinas da Região Metropolitana do Recife (RMR). 1994. 194 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano e Regional) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1994.

CARVER, R.E. (ed.) **Procedures in Sedimentary Petrology**. Wiley Interscience, p. 49-69. 1971.

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

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. **El niño e la niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 26 fev. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. Sistema de informação para gestão territorial da região metropolitana do Recife. Projeto Singre. **Cartografia geológica do município do Cabo de Santo Agostinho/PE**. (Séries cartas temáticas, v. 4). Recife: CPRM, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/Serviço Geológico do Brasil - Sistema de informação para gestão territorial da região metropolitana do Recife, Projeto Singre. **Cartografia geotécnica e de suscetibilidade à processos geológicos do município de Ipojuca/PE**. (Séries cartas temáticas, v. 2) Recife: CPRM, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. Sistema de Informações para gestão territorial da região metropolitana do Recife. Projeto SINGRE. **Hidrologia do Município de Ipojuca/Pernambuco**. (Série recursos hídricos, v. 3.). Recife: CPRM/FIDEM, 1998.

CONSELHO PASTORAL DE PESCADORES. Org.: Tomás, Alzení de Freitas & Santos, Gilmar. **Conflitos socioambientais e violações de direitos humanos em comunidades tradicionais pesqueiras no Brasil**. Brasília: CPP, 2016. 104p. Disponível em: http://cpp.institucional.ws/sites/default/files/publicacoes/Relat%C3%B3rio%20de%20conflitos%20socioambientais%20final.pdf_. Acesso em: 22 fev. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução 454 de 1 de novembro de 2012**. 17p. 2012. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf . Acesso em: 30 mai. 2019.

CONSULPLAN. **Estudos para ajustes do plano de desenvolvimento para as condições atuais e para complementação do primeiro módulo da oferta de infraestrutura portuária**. Projeto Técnico. Rio de Janeiro, 1989.

CONTI, L. A., TORRES, G.M., BARCELLOS, R. L. **High resolution remote sensing for estuarine benthic habitat mapping**: Suape bay – Pernambuco, Brazil. CD-Rom of ECSA57. Perth - WA, AU. 2018.

CORDEIRO, I. A. **Condições ambientais da área do complexo estuarino portuário de Suape**

(Pernambuco, Brasil): biomassa fitoplancônica e parâmetros hidrológicos. 2017. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. 50 p.

COTOVICZ JÚNIOR, L. C., BRANDINI, N., KNOPPERS, B. A., MIZERKOWSKI, B. D., STERZA, J. M., OVALLE, A. R. C., MEDEIROS, P. R. P. Assessment of the trophic status of four coastal lagoons and one estuarine delta, eastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.185, p.3297-3311, 2013.

COUTINHO, P. N. **Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe.** Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. Tese de Livre Docência, 119 p., 1976.

DELANEY, M. L. - Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. **Global Biogeochemical Cycles**, 12(4):562- 572. 1998.

DEVOL, A. H. Solution to a marine mystery. **Nature** 422: 575–576. 2003.

DONATO, D. C. et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**: n. 4, p. 293-297, 2011.

DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. S. P., LEÃO, Z. M. A. N., AZEVEDO, A. E. G. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências** 20(1-4):208-215, março/dezembro de 1990.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos da Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998. p. 602.

FERRARO, A. G. M.; CANTARINO, A. A. A. **O gerenciamento de resíduos de navios de apoio à empresas petrolíferas com base na NT 08/08:** Atendimento às exigências do projeto de controle da poluição (PCP)/IBAMA. VII Congresso nacional de excelência em gestão. ISSN: 1984-9354. 2011.

FERNANDES, M. L. B. **Avaliação de dois ambientes recifais do litoral de Pernambuco, através das suas macro e megafaunas incrustantes e sedentárias.** Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2000.

FERREIRA JUNIOR, A. V., ARAÚJO, T. C. M., COLTRINARI, L. Ambientes de formação, processos de cimentação de arenitos de praia e indicadores de variações do nível do mar. **Revista Brasileira de Geografia Física** 05 (2011) 938-960. 2011.

FOLK, R. L. & W. C. WARD. Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27 : 3-27. 1957.

FONSECA, A. **Variação sazonal e espacial das características hidroquímicas, dos fluxos de nutrientes e do metabolismo na interface água- sedimento da Lagoa da Conceição (SC, Brasil).** Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica). São Paulo. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 182p. 2004.

FONTANA, J. F. ; OLIVEIRA, C. R. ; MADUREIRA, L.A.S. Determinação das diferentes

formas de fósforo em amostras de sedimentos superficiais nas regiões portuárias de Santa Catarina. In: ENCONTRO DE QUÍMICA DA REGIÃO SUL, 16., 2008, Blumenau. **Anais [...]**. Blumenau-SC, 2008.

FRAGA, T. F. C., CORDÃO, M. J. S., SOARES, T. F., MOTA, M. G. C. **Discussão sobre a diluição de efluentes industriais em corpos hídricos**. Gestão de água: água, meio-ambiente e saúde. 2013. p. 399. Disponível em: http://www.unicap.br/encontrodasaguas/wp-content/uploads/2013/06/Andreza-Tacyana-F%C3%A9lix-Carvalho-Fraga-ufpe-Trabalho_2073004924.pdf. Acesso em: 9 ago. 2019.

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.

GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods of seawater analysis**. 2. ed. Weinheim, Deerfield beach, Florida, Basel: John Wiley & Sons, Verlag Chemie, 1983.

GUNTER, W.D., Bachu, S., Benson, S.M., The role of hydrogeological and geochemical trapping in sedimentary basins for secure geological storage for carbon dioxide. **Geological Storage of Carbon Dioxide**. Geological Society Special, v. 233, p. 129–145, 2004.

HAZIN, F., BURGUES, G. CARVALHO, F. A Shark attack Outbreak of Recife, Pernambuco, Brazil: 1992-2006. **Bulletin of Marine Science**, 82(2): 199-212, 2008.

HECKY, R. E. & KILHAM, P. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. **Limnol. Oceanogr.** 33:796–822. 1988.

HEDGES, J.I. & STERN, J.H. Carbon and Nitrogen determination in carbonate containing solids. **Limnology and Oceanography**: v. 29, n.3, p.657-663, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de dados**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em: 9 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de dados**. 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2019.

JARVIE, H.P., WITHERS, P.J.A, NEAL, C. Review of robust measurement of phosphorus in river water: sampling, storage, fractionation and sensitivity. **Hydro Earth System. Sci.** 6, 113-132. 2002.

JATOBÁ, L.; LINS, R. C. **Introdução à geomorfologia**. 5. ed. Recife: Bagaço, 2008. p. 185.

JESUS, L. V.; ANDRADE, A. C. S. Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas-Aracaju-SE. **Scientia Plena**, vol. 9, num. 5. 2013.

JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R. **Data analysis in**

community and landscape ecology. 2. ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995.

KARLSSON, J., BYSTRO, P., ASK, J., ASK, P., PERSSON, L. & JANSSON, M. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. **Lettrers** Vol. 460, 23. 2009.

KOENING, M. L. et al. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 4, p. 407-420. 2002.

LABORATÓRIO DE ESTUDOS DE IMPACTOS ANTRÓPICOS NA BIODIVERSIDADE MARINHA E ESTUARINA - BIOIMPACT. **O estuário de Suape. Pernambuco, Brasil**. Disponível em: /bioimpact.site.com.br/suape/. Acesso em: 02 fev. 2019

LARSONNEUR, C. La caryographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée en Manche. **Journal Redi oceanog**, vol. 2, pag. 34-39. 1977.

LARSSONEUR, C.; BOUYASSE, P. & AUTTET, J. P. The superficial sediments of the English Channel and its western approaches. **Sedimentology**, 29(6): 851-864. 1982.

LEMOES, R. T. O., DE CARVALHO, P. S., ZANARDI-LAMARDO, E. Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development. **Marine Pollution Bulletin**, 82, 183-188, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul>.

LIMA, M. R. B. L. M. A. **Natureza e origem da matéria orgânica depositada sobre os sedimentos superficiais ao longo da Plataforma Continental entre as cidades do Rio de Janeiro (RJ) e São Francisco do Sul (SC)**. 2000. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. 115p.

LIMA FILHO, M. F. **Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco**. 1998. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: doi:10.11606/T.44.1998.tde-03092013-090232. Acesso em: 20 mar. 2019.

LIMA FILHO, M. F.; BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M. Eventos tectônicos e sedimentares nas Bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebraamento do Gondwana e correlação com a Bacia do Rio Muni. **Revista de Geociências** (UNESP), São Paulo, v. 25, n.1, p. 117-126, 2006.

LINS, P. A. M. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do rio Ipojuca, PE**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

LIRA L., HAZIN F.H., WOR C., JUNIOR H. A. Estudo de correntes marinhas por meio do lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco, Brasil. **Arquivos de ciências do mar**, Fortaleza, 43(1):30-37, 2010.

MALLEY, D.F., LOCKHART, L., WILKINSON, P., HAUSER, B. Determination of carbon, carbonate, nitrogen, and phosphorus in freshwater sediments by near-infrared reflectance spectroscopy: Rapid analysis and a check on conventional analytical methods. **Journal of**

Paleolimnology. 24: 415-425. 2000.

MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods**: a primer. 2. ed. London: Chapman & Hall, 1994.

MANSO, V. A.V.; MUEHE, D. ; ARRUDA, S. D. D. ; COUTINHO, P. N. ; MADRUGA FILHO, D. ; PEDROSA, F.; SILVA, A. C.; ARRAES, M. Panorama da erosão Costeira no Brasil, trecho Pernambuco. *In*: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Departamento de Gestão Ambiental Territorial. DIETER MUEHE. (Org.). **Panorama da erosão costeira no Brasil**. 1ed. Brasília: MMA, 2018. v. 1, p. 345-380.

MARCOVECCHIO, J. E. **Overview on land-based sources and activities affecting the marine, coastal and associated freshwater environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean**, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 170, UNEP/GPA coordination Office, The Hague, p. 10, 2000.

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. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1208-1214. 2007.

MARONE, E.; GUIMARÃES, M.R.F.; CAMARGO, R.; PRATA, Jr., V.P. & KLINGENFUSS, M.S. **Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá**. Apresentado no VI Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, Mar del Plata, Argentina. 1995.

MCMANUS, D.A. Modern versus Relict sediments on continental shelf. **Geological Society of America Bulletin**, 86:1154-1160. 1975.

MELO, C. A. A. Recursos hídricos e impactos ambientais – implantação do estaleiro Costrucap na zona portuária de Suape/PE. **Revista Pernambucana de Tecnologia**, Recife, v.2, n.2 p.38-46, abr, 2014.

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 Iguaiá – Paço do Lumiar (MA)**. 2009. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Paraná. 2009. 186p.

MIRANDA, A. M. **Condições ambientais do estuário do rio Merepe (Pernambuco -Brasil): biomassa fitoplânctônica e parâmetros hidrológicos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. 67 p.

MÜLLER, G. **Methods in sedimentary petrography** (Part I). New York: Hafner Publishing Co., 1967. p. 283.

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.

NEUMANN, V.H., MEDEIROS, C., PARENTE, L., NEUMANN-LEITÃO, S.; KOENING,

M.L. Hydrodynamism, Sedimentology, Geomorphology and Plankton Changes at Suape Area (Pernambuco - Brazil) after a Port Complex Implantation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 313-323, 1998.

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

O GLOBO. Revista amanhã - **Complexo de Suape, em Pernambuco, é alvo de investigações**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/revista-amanha/complexo-de-suape-em-pernambuco-alvo-de-investigacoes-9995975>. Acesso em: 15 mar. 2019.

OLIVEIRA, T. R. S.; SANTOS, L. D.; SILVA, J. C. A.; EICHLER, P. P. B.; BARCELLOS, R. L. Correlação entre características sedimentológicas e Foraminíferos bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um estudo ambiental. **Anuário Do Instituto de Geociências**, UFRJ, 2019.

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.

OLIVEIRA, T. S.; BARCELLOS, R. L. ; SILVA, S. M. . Distribuição sazonal da matéria orgânica e carbonato nos sedimentos do sistema estuarino do Porto de Suape, Pernambuco. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 17., 2017, Balneário Camboriú. **Anais de Resumos** [...]. Balneário Camboriú: CLACM, 2017.

OLIVEIRA, T. S. **Sedimentação holocênica na região de influência do complexo industrial portuário de Suape (PE)**. 2019. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. 78 p.

OLSEN, S.R. & SOMMERS, L.E., **Phosphorus: methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, WI., 1982. p. 403-430.

PARDAL, E.C. **Aspectos sedimentológicos e geoquímicos do estuário do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco**. 2019. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. 172p.

PARDAL E.C., XAVIER, D. A., VILELA, I. M., CAMARGO, P. B., FLORES-MONTES, M. J., BARCELLOS, R. L. Variabilidade sedimentológica e geoquímica em um sistema estuarino tropical sob forte influência antrópica no nordeste brasileiro (rio Capibaribe-PE). **Pesquisas em Geociências** (no prelo), 2019.

PARDO, P., GEMMA, R., LOPEZ-SANCHEZ, FERMIN J. Shortened screening method for phosphorus fraction 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.; BABU, C.P. Depositional environments inferred from variations of calcium carbonate, organic carbon, and sulfide sulphur: a core from southeastern Arabian Sea. **Geo-Marine Letters**, n. 11, p. 96-102. 1991.

- PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, S. D. (ed.). **Tide-influenced sedimentary environments and facies**. D. Reidel, Dordrecht, 1988. p.289-300.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: TORRADO, P.V.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4, p. 233-276.
- PETTIJOHN, F.J. **Sedimentary rocks**. 2. ed. New York: Harper & Row, 1975.
- PHILIPS, E. J., BADYLAK, S., GROSSKOPF, T. Factors affecting the abundance of phytoplankton in a restricted subtropical lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, p.385-402. 2002.
- PROTAZIO, L.; TANAKA, S. M. C. N.; CALVACANTE, P. R. S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. **Revista Analytica**. n. 08 Dez/Jan. 2004.
- RABALAIS N. N. Nitrogen in Aquatic Ecosystems. **Ambio, A Journal of the Human Environment** 31 (2). 102-112. 2002.
- RAGHOTHAMA, K. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 56, p. 761-764, 1975.
- RAND, H. M. **Estudos geofísicos na faixa litorânea sul de Recife**. 1976. Tese (Livre Docência) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1976. 101 f.
- REDFIELD, A.C., KETCHUM B.H.; RICHARDS, F.A. **The influence of organisms on the composition of sea-water, in the Sea**. New York: Wiley-Interscience, 1963. v. 2, p. 26-77.
- 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 J. Anal. Chem.**, 370: 224–228. 2001.
- RUTTENBERG, K. C. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. **Limnology and Oceanography** – ASLO. Volume37, Issue7, Pages 1460-1482. 1992.
- RUTTENBERG, K. C. **The global phosphorus cycle**. In: HOLLAND, H. D. 2003.
- RUTTENBERG, K. C. & GOÑI, M. A. Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}\text{C}_{\text{oc}}$ in arctic, temperate, and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. **Marine Geology** 139 (1997) 123-145. 1997.
- SALOMONS W. & GERRITSE R.G. Some observations on the occurrence of phosphorus in recent sediments from western Europe. **Sci Total Environ**, 17:37-49. 1981.

SÁ, M. E. M. de; LEAL NETO, A. de C.; SANTOS, M. L. F. Síntese da análise comparativa entre os portos do Recife e de Suape: desafios para a gestão ambiental. **Tropical Oceanography**, v. 39, n. 2. p. 1-16. Recife, 2011.

SANTOS, I. O., LIMA, E. A. M., LIMA, E. S. L., DEMETRIO, J. G. A. Avaliação geoquímica da variabilidade das concentrações de molibdênio distribuídas em um perfil pedológico na bacia do rio Tatuoca, Ipojuca – Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 01, p. 237-249. 2016.

SANTOS, L. D., BARCELLOS, R. L. **Sedimentação atual do estuário do rio Formoso – PE (Brasil)**. Sedimentação e geoquímica sazonal em um sistema estuarino tropical brasileiro. Latvia, European Union: Novas Edições Acadêmicas, 2017. 105 pgs. ISBN: 978-3-330-76330-2.

SANTOS, L. D. **Dinâmica sedimentar e o comportamento sazonal da matéria orgânica no estuário do rio Formoso – PE**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. 98p.

SANTOS, L. D.; VEIGA, T. T., SILVA, S. M., VASCONCELOS, A. G. P. P., BARCELLOS, R. L. **Dinâmica sedimentar sazonal em um sistema estuarino-lagunar altamente modificado no nordeste brasileiro**: Sistema estuarino do rio Ipojuca (PE). Apresentado no 49º Congresso Brasileiro de Geologia, 2018. ISBN: 978-85-99198-20-9.

SANTOS, M. L. S., SARAIVA, A. L. L., DELFINO, I. B., ANTUNES, L. C., BATISTA, R. M. M., ALVES, I. C. C. Avaliação das Formas de Fósforo nos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental do Rio Amazonas. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 10(4):589-596. 2010.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cel. **Plant Physiology**, v. 116, p. 447-453, 1998.

SCHENK, C. V. Migração de meandros fluviais: estudo dos mecanismos de erosão e deposição numa seção tipo Rio Ibicuí/RS, *In*: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (26. : 2014 out. 20-24) 2014.

SCHETTINI, C. A. F; PEREIRA FILHO, J.; SPILLERE, L. Caracterização oceanográfica e biogeoquímica dos estuários dos rios Tavares e Defuntos, Reserva Extrativista de Pirajubaé, Florianópolis, SC. **Notas Técnicas FACIMAR**, v. 4, p. 11-28. 2000.

SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **SUAPE - Plano mestre**: Pesquisa e estudo para a logística portuária e desenvolvimento de instrumentos de apoio ao planejamento portuário. Florianópolis, SC: UFSC, 2012. 9 pgs. 2012.

SHEPARD, F.P. & D. G. MOORE. Sedimentary Environments Differentiated by Coarse Fraction Analysis. **Bull. An. Assoc. Petrol. Geol.**, 38(8):1792-1802. 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, 207-217. 2001.

SILVA, C.G., PATCHINEELAN, S.G., BATISTA NETO, J. A.; PONZI, V.R.A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. *In*: INTRODUÇÃO À GEOLOGIA MARINHA. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. cap. 8, p.175-218.

SILVA, M. S. **Processamento de dados de ADCP móvel para estudos de circulação em estuários**. TCC (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVEIRA, K. A. **Conflitos socioambientais e participação social no Complexo Industrial Portuário de Suape, Pernambuco**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

STELZER, R. S. & LAMBERTI, G.A. Stelzer, R.S. & Lamberti, G.A. Effects of N: P ratio and total nutrient concentration on stream periphyton community structure, biomass, and elemental composition. **Limnol. Oceanogr.**, 46(2): 356–367. 2001.

STROM, R. N.; BIGGS, R. B. Phosphorus distribution in sediments of the Delaware River Estuary. **Estuaries and Coasts**, v. 5, n. 2, p. 95-101. 1982.

SUAPE. Negócios. Sede administração Suape - Ipojuca, PE. **Mapa de empresas instaladas em Suape**. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/pt/negocios/mapa-de-empresas>. Acesso em: 14 abr. 2019.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 2003. 400p.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher/EDUSP, 1973. p. 317.

SUGUIO, K.; MARTIN, L., BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. F.; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Rev. Bras. Geoc.**, v.15, n.4, p. 273-286, 1985.

TRIMMER, M. & NICHOLLS, J. C. Production of nitrogen gas via anammox and denitrification in intact sediment cores along a continental shelf to slope transect in the North Atlantic. **Limnol. Oceanogr.**, 54(2), 2009, 577–589. University Press. New York. 2009.

VAITHIYANATHAN, P.; JHA, P. K.; SUBRAMANIAN, V., Phosphorus distribution in the sediments of the Hoogly (Ganges) estuary, India. **Estuar Coast Shelf Sci.**, London, v. 37, p. 603 – 614. 1993.

VALENTI SCHENK, C. **Migração de meandros fluviais**: estudo dos mecanismos de erosão e deposição numa seção tipo Rio Ibicuí/RS. 44f. 2014.

VIDAL, M., DUARTE, C. M., AGUSTI, S., GASOL, J. M., VAQUE, D. Alkaline phosphatase activities in the central Atlantic Ocean indicate large areas with phosphorus deficiency. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 262: 43–53. 2003

VILA NOVA, F. V. P.; TORRES, M. F. A.; COELHO, M. P.; SANTANA, M. N. G. de. Aplicação Do Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada No Monitoramento Dos Manguezais: Litoral Sul De Pernambuco-Brasil. **Revista Geografares**, nº15, p.36-67, ISSN 2175-3709. Dezembro, 2013.

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

WILLIAMS, J.D.H., JAQUET J. M., THOMAS, FISH, J. Collect the extract in a test-tube for the analysis of Board. **Res.7. Can.** 33, 413. 1976.

ANEXO A - TABELA PERÍODO CHUVOSO SUAPE (JULHO, 2017) E IPOJUCA (AGOSTO, 2017)

Estação	Longitude	Latitude	Prof. (m)	CaCO3 (%)	MOT (%)	PO4 inorg.	PO4 org.	PO4 total	% PO4 org.	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	%Lama	Phi médio	s. de seleção	Assim.	Curtose
ST0	-34,96	-8,36	2,60	1,10	2,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	99,36	0,00	0,00	0,00	0,83	0,52	-0,03	1,28
ST1	-34,95	-8,36	6,90	14,20	5,33	0,00	0,15	0,15	100,00	0,79	99,10	0,11	0,00	0,11	1,11	1,04	-0,14	0,89
ST2	-34,95	-8,37	3,60	26,30	5,33	0,00	0,30	0,30	100,00	1,90	74,66	14,47	8,97	23,44	3,24	2,03	0,37	1,96
ST3	-34,95	-8,37	10,60	8,10	3,97	0,00	0,13	0,13	100,00	0,00	86,08	1,86	12,06	13,92	2,83	1,46	0,50	3,14
ST7	-34,97	-8,39	10,60	23,50	12,67	0,09	0,53	0,63	85,19	0,00	6,86	72,97	20,17	93,14	5,66	1,78	0,69	1,11
ST8	-34,97	-8,38	11,00	26,00	16,73	0,09	0,53	0,62	85,76	0,00	27,20	62,08	10,72	72,80	4,54	1,34	0,33	2,47
ST9	-34,97	-8,38	11,50	22,30	16,80	0,03	0,39	0,42	93,41	0,64	38,38	37,10	23,89	60,99	5,12	2,54	0,26	0,61
ST11	-34,96	-8,37	1,00	1,10	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	99,87	0,10	0,00	0,10	2,11	0,53	-0,11	1,14
ST13	-34,97	-8,36	3,10	0,50	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	97,53	0,00	0,00	0,00	0,75	0,72	-0,08	1,05
ST16	-34,98	-8,36	1,20	5,00	10,40	0,00	0,01	0,01	100,00	0,11	99,54	0,34	0,00	0,34	2,04	0,52	0,07	1,10
ST18	-34,99	-8,35	3,00	0,50	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	99,93	0,00	0,00	0,00	1,11	0,53	-0,06	0,98
ST20	-34,96	-8,37	4,40	2,90	2,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	99,55	0,28	0,00	0,28	1,42	0,75	0,09	1,47
ST21	-34,95	-8,36	1,50	2,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,66	97,34	0,00	0,00	0,00	0,28	0,70	0,02	1,22
ST25	-34,95	-8,38	4,30	29,50	4,67	0,00	0,31	0,31	100,00	0,98	75,57	14,67	8,78	23,45	3,59	1,61	0,48	2,23
ST29	-34,95	-8,39	15,50	42,00	8,03	0,24	0,59	0,83	70,89	0,00	3,76	47,22	49,02	96,24	7,08	1,72	-0,57	0,62
ST40	-34,95	-8,38	16,60	44,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,60	47,40	0,00	0,00	0,00	-0,37	1,16	0,75	0,65
ST1	-35,00	-8,41	5,50	0,33	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	8,25	91,75	0,00	0,00	0,00	0,02	0,78	0,03	0,89
ST2	-35,00	-8,41	1,80	0,30	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	99,40	0,03	0,00	0,03	0,70	0,70	0,03	0,98
ST3	-34,99	-8,40	1,00	0,30	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	99,16	0,00	0,00	0,00	0,79	0,60	-0,18	1,17
ST4	-34,98	-8,41	1,00	8,87	2,66	0,14	0,24	0,38	62,51	0,64	39,91	57,56	1,89	59,45	4,94	1,96	-0,58	0,67
ST5	-35,00	-8,44	1,30	0,53	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	99,83	0,00	0,00	0,00	1,28	0,60	-0,17	0,96
ST6	-34,99	-8,43	0,50	3,07	0,92	0,02	0,05	0,07	66,92	0,83	99,13	0,04	0,00	0,04	1,62	0,76	-0,08	1,10
ST7	-34,99	-8,42	1,00	13,40	4,02	0,48	0,30	0,78	38,78	0,08	20,21	75,94	3,78	79,72	5,44	1,78	-0,64	1,30
ST8	-34,98	-8,42	1,00	5,87	1,76	0,53	0,49	1,02	48,22	3,57	11,84	56,05	28,54	84,59	5,94	2,26	0,15	0,82
ST9	-34,98	-8,41	2,00	4,50	1,35	1,01	0,28	1,29	21,85	0,78	98,95	0,27	0,00	0,27	1,38	0,81	-0,37	1,35
ST10	-34,98	-8,41	1,50	2,43	0,73	0,01	0,02	0,03	63,94	1,37	98,46	0,17	0,00	0,17	1,12	0,59	-0,10	0,99
ST11	-34,99	-8,40	0,80	3,73	1,12	0,20	0,03	0,23	13,71	0,80	75,52	13,62	10,06	23,68	3,35	2,31	0,60	1,60
ST12	-34,97	-8,40	0,80	9,00	2,70	0,49	0,41	0,90	45,92	0,62	12,44	47,09	39,85	86,94	6,35	2,01	-0,05	0,65
ST13	-34,97	-8,40	0,90	7,50	2,25	0,58	0,24	0,82	28,71	1,42	46,70	32,36	19,52	51,88	4,60	2,91	0,17	0,69
ST14	-34,97	-8,41	4,10	7,67	2,30	0,53	0,57	1,10	51,68	0,00	12,69	75,90	11,41	87,31	4,86	1,27	0,52	2,94
ST15	-34,97	-8,41	4,10	6,13	1,84	0,53	0,15	0,68	21,95	2,06	36,25	49,04	12,65	61,69	3,70	2,02	-0,20	1,26
ST16	-34,97	-8,41	3,10	0,73	0,22	0,09	0,10	0,19	51,93	4,21	95,62	0,17	0,00	0,17	1,28	0,96	-0,35	1,15
ST17	-34,97	-8,41	1,50	0,80	0,24	0,10	0,00	0,11	2,75	12,05	87,85	0,10	0,00	0,10	0,16	1,00	0,07	1,00
ST18	-34,97	-8,42	1,50	1,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,97	0,03	0,00	0,03	1,46	0,46	-0,18	0,98
ST19	-34,98	-8,43	1,10	10,60	3,18	0,24	0,02	0,26	8,47	0,38	14,18	40,17	45,27	85,44	6,87	1,89	-0,42	0,78
ST20	-35,02	-8,42	1,50	5,90	1,77	0,14	0,28	0,42	66,01	2,45	89,40	1,63	6,52	8,15	0,93	1,79	0,31	3,42
ST21	-35,01	-8,42	2,50	1,20	1,57	0,12	0,78	0,90	86,78	2,51	97,26	0,24	0,00	0,24	0,13	0,61	0,25	2,58
ST22	-35,01	-8,41	0,30	6,03	1,81	0,69	0,42	1,11	38,06	0,08	20,65	25,53	53,74	79,27	6,84	2,15	-0,73	0,64
ST23	-35,00	-8,41	0,00	5,53	1,66	0,51	0,31	0,82	37,45	0,00	39,56	25,24	35,20	60,44	5,55	2,56	-0,02	0,54
ST24	-35,00	-8,41	3,20	0,50	0,15	0,00	0,18	0,18	100,00	22,70	77,30	0,00	0,00	0,00	-0,45	0,71	0,19	0,90
ST25	-35,00	-8,44	1,00	2,67	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	99,73	0,14	0,00	0,14	1,46	0,81	-0,17	0,95
ST26	-34,98	-8,43	1,10	1,87	0,56	0,24	0,04	0,28	14,36	2,10	97,50	0,41	0,00	0,41	1,66	1,15	-0,28	0,79

Legenda = STs 0 a 40, Suape. STs 0 a 26 (a partir da linha 18), Ipojuca.

ANEXO B - TABELA PERÍODO SECO SUAPE E IPOJUCA (MARÇO, 2017)

Estação	Longitude	Latitude	Prof. (m)	CaCO3 (%)	MOT (%)	PO4 inorg.	PO4 org.	PO4 total	(%)PO4 org.	C%	N%	razão C/P	razão N/P
ST0	-34,9620	-8,3633	2,30	4,30	2,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,044	0,004	x	x
ST1	-34,9471	-8,3636	10,10	18,70	3,83	0,048	0,069	0,117	58,947	0,150	0,014	217,93	20,11
ST2	-34,9521	-8,3710	1,70	6,90	2,87	0,000	0,063	0,063	100,000	0,078	0,007	123,81	10,92
ST3	-34,9593	-8,3902	10,20	14,80	2,97	0,002	0,056	0,058	96,290	0,168	0,016	301,24	28,42
ST7	-34,9668	-8,3871	10,00	23,30	24,20	0,235	0,393	0,628	62,535	2,126	0,124	541,37	31,65
ST8	-34,9690	-8,3801	11,00	30,70	19,20	0,221	0,280	0,502	55,871	3,706	0,191	1322,54	68,04
ST9	-34,9675	-8,3763	11,70	29,50	39,60	0,109	0,348	0,457	76,186	14,699	0,474	4218,92	136,09
ST11	-34,9606	-8,3680	1,50	7,80	5,50	0,012	0,091	0,103	88,261	0,259	0,018	286,13	19,88
ST13	-34,9720	-8,3600	1,90	2,10	1,37	0,000	0,000	0,000	100,000	0,032	0,003	10625,47	1096,56
ST16	-34,9827	-8,3644	1,00	5,10	7,33	0,000	0,005	0,005	100,000	0,322	0,020	6778,64	414,46
ST18	-34,9851	-8,3517	3,00	4,10	1,87	0,000	0,021	0,021	100,000	0,100	0,006	485,56	30,07
ST20	-34,9589	-8,3677	2,10	1,90	0,67	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019		x	x
ST21	-34,9527	-8,3623	1,50	3,70	1,33	0,000	0,005	0,005	100,000	0,048	0,004	1036,49	96,30
ST25	-34,9409	-8,3686	1,90	10,60	1,93	0,000	0,000	0,000	0,000	0,048	0,004	x	x
ST29	-34,9471	-8,3417	10,00	48,70	14,90	0,492	0,514	1,007	51,105	2,473	0,264	480,66	51,27
ST40	-34,9492	-8,3804	14,50	34,50	1,00	0,141	0,164	0,305	53,657	0,044	0,006	26,78	3,74
ST1	-35,0045	-8,4106	3,50	2,50	3,30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,006	x	x
ST2	-34,9963	-8,4106	2,30	2,20	2,07	0,000	0,000	0,000	0,000	0,072	0,006	x	x
ST3	-34,9918	-8,4100	1,20	2,20	2,27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	0,008	x	x
ST4	-34,9843	-8,4105	3,50	6,50	6,87	0,016	0,011	0,027	40,338	0,178	0,017	1657,75	154,97
ST5	-34,9974	-8,4378	1,50	1,90	1,80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,007	x	x
ST6	-34,9923	-8,4303	0,50	12,90	13,83	0,196	0,119	0,315	37,803	1,602	0,118	1343,52	98,95
ST7	-34,9863	-8,4223	1,00	10,00	6,90	0,000	0,058	0,058	100,000	0,819	0,063	1406,38	108,95
ST8	-34,9794	-8,4171	0,50	14,90	7,27	0,042	0,085	0,127	67,114	0,725	0,056	853,06	65,71
ST9	-34,9768	-8,4093	1,60	43,80	14,40	0,466	0,407	0,873	46,623	2,791	0,193	685,81	47,36
ST10	-34,9785	-8,4060	1,50	8,70	1,67	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,005	x	x
ST11	-34,9810	-8,4023	0,30	14,80	6,07	0,001	0,070	0,070	99,148	0,692	0,042	990,30	59,81
ST12	-34,9761	-8,4029	1,00	44,20	19,40	0,541	0,406	0,947	42,898	3,831	0,286	943,08	70,32
ST13	-34,9724	-8,4036	0,80	43,60	11,67	0,353	0,394	0,747	52,773	0,369	0,036	93,59	9,05
ST14	-34,9741	-8,4074	1,30	31,30	5,00	0,023	0,032	0,054	58,310	0,082	0,007	257,48	20,59
ST15	-34,9666	-8,4064	0,90	45,90	4,57	0,192	0,037	0,229	16,207	0,030	0,004	81,79	11,03
ST16	-34,9687	-8,4105	5,50	18,20	0,40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,003	x	x
ST17	-34,9701	-8,4143	1,70	21,10	2,30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,003	x	x
ST18	-34,9726	-8,4192	1,10	5,20	1,83	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,003	x	x
ST19	-34,9766	-8,4273	1,10	49,10	2,57	0,133	0,049	0,181	26,869	0,035	0,004	72,17	8,35
ST20	-35,0144	-8,4225	2,50	9,60	10,67	0,232	0,239	0,471	50,733	3,601	0,149	1508,17	62,55
ST21	-35,0189	-8,4175	1,00	12,90	9,57	0,856	0,524	1,379	37,965	2,476	0,155	472,93	29,65
ST22	-35,0052	-8,4141	0,50	0,10	11,07	0,614	0,452	1,066	42,430	4,710	0,276	1041,59	61,10
ST23	-35,0022	-8,4127	0,20	3,00	18,73	0,358	0,682	1,040	65,543	4,165	0,218	611,10	31,96
ST24	-35,0035	-8,4087	3,40	12,50	0,57	0,128	0,484	0,612	79,070	2,964	0,185	612,99	38,17
ST25	-35,0000	-8,4423	1,90	20,50	3,27	0,000	0,052	0,052	100,000	0,485	0,038	937,92	72,67
ST26	-34,9777	-8,4305	0,60	39,80	2,77	0,000	0,148	0,148	100,000	0,022	0,003	14,95	1,79

Legenda = STs 0 a 40, Suape. STs 0 a 26 (a partir da linha 18), Ipojuca.