



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

LUCIANA DANTAS DOS SANTOS

**SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA NO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DOS
RIOS IPOJUCA E MEREPE (PE)**

Recife
2022

LUCIANA DANTAS DOS SANTOS

**SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA NO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DOS
RIOS IPOJUCA E MEREPE (PE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Cabral Carvalho.

Recife

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S237s Santos, Luciana Dantas do.
Sedimentação holocênica no sistema estuarino-lagunar dos rios Ipojuca e Merepe (PE) / Luciana Dantas dos Santos. – 2022.

159 f.: il., fig., quad. e tab.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Cabral Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Recife, 2022.

Inclui referências.

1. Geociências. 2. Matéria orgânica sedimentar. 3. Porto de Suape.
4. Geoquímica estuarina. 5. Carbono orgânico. 6. Evolução sedimentar.
7. Impactos ambientais. I. Barcellos, Roberto Lima (Orientador). II.
Carvalho, Rafael Cabral (Coorientador). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-99

LUCIANA DANTAS DOS SANTOS

**SEDIMENTAÇÃO HOLOCÊNICA NO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DOS
RIOS IPOJUCA E MEREPE (PE)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geociências. Área de Concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Aprovada em: 27/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. José Antonio Barbosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades e vitórias concedidas.

Agradeço a todos os amigos e familiares que me apoiaram durante estes anos que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao meu orientador Roberto Barcellos, por ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Ao meu co-orientador Rafael Carvalho pela paciência durante todo o processo e dedicação. Aos professores e membros da banca, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho nesta versão final da tese.

Ao Departamento de Oceanografia (DOCEAN) pela infraestrutura laboratorial, especialmente o LABOGEO (Laboratório de Oceanografia Geológica). Ao suporte proporcionado pelos projetos científico projetos: i) “Sedimentação holocênica na região de influência do complexo industrial portuário de Suape - PE (Suape-GEOSUB)” (FACEPE: APQ-0260-1.08/15) coordenado pelo professor Roberto Lima Barcellos (DOCEAN – UFPE); ii) “Caracterização de paisagens submersas em áreas costeiras protegidas através de sensoriamento remoto de alta resolução: estudo de caso do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE) (DICAM)” (CAPES n°: 23038.001423/2014-29) coordenado pelo professor Manuel de Jesus Flores-Montes (DOCEAN – UFPE); iii) “Caracterização de paisagens submersas em áreas costeiras protegidas através de sensoriamento remoto de alta resolução. Estudo de caso do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)” (FAPESP n°: 2015/18011-4), coordenado pelo Prof. Dr. Luís Américo Conti (EACH-USP). Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências – UFPE (PPGEOC-UFPE) e pelo suporte da secretaria e da coordenação. À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM - Recife), especialmente ao Márcio Valle, pelas análises granulométricas. Ao CENA-USP por meio do Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo pelas análises de matéria orgânica (elementar e isotópica). À Beta Analytics pelas análises de datação 14C.

A todos os colegas e amigos do Departamento de Oceanografia da UFPE (DOCEAN-UFPE) que compartilham comigo o meu dia a dia.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

RESUMO

O sistema estuarino-lagunar dos rios Ipojuca, Merepe, Tatuoca, Massangana e a Baía de Suape ($8^{\circ}20'S/34^{\circ}57'W$) estão localizados a 40km ao sul do Recife (PE), e é onde está situado o Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS). O presente trabalho tem como objetivo estabelecer e evoluir os conhecimentos sobre a dinâmica sedimentar atual e recente no sistema estuarino dos rios Ipojuca e Merepe (PE) da Matéria Orgânica Sedimentar (MOS). Inicialmente foi realizado um levantamento do estudo da MOS nos estuários de Pernambuco afim de fornecer embasamento teórico para o tema na região e auxiliar a discussão dos resultados da área de estudo. Em seguida, foi realizada a análise sazonal superficial dos sedimentos afim de obter a dinâmica sedimentar atual e por último, a análise dos sedimentos ao longo de 320 anos com o intuito de reconhecer a dinâmica dos sedimentos recente através do testemunho sedimentar. Os resultados indicaram que os sedimentos são, em geral, litoclásticos arenosos, com baixos conteúdos de Matéria Orgânica (MO) de origem predominantemente continental e mista condicionados pelos tipos de sedimentos (arenosos ou lamosos) e pelas entradas distintas de materiais às quais cada subambiente é submetido e influenciado pelos fatores: hidrodinâmica, profundidade local e a geologia. As mudanças estruturais sofridas pela instalação do CIPS são refletidas na composição sedimentar e o sistema é influenciado pela sazonalidade (inverno e verão). Foi possível identificar áreas preferenciais de deposição: porto interno; baía de Suape, estuário do Massangana, plataforma interna, laguna de Muro Alto, baía de Ipojuca, e os estuários dos rios Ipojuca e Merepe, resultante das alterações, principalmente na morfologia de fundo da baía do Ipojuca e da batimetria rasa. Apesar de altos valores de MO quando comparados aos outros estuários pernambucanos, os níveis de Carbono orgânico Total (COT) são baixos e estão abaixo do valor de alerta da resolução do CONAMA (10%). Através da análise do registro sedimentar, foi possível associar as mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo por meio da mudança das assinaturas geoquímicas ao longo do testemunho. Observa-se um aumento sensível nos teores de lamas, MO e Nitrogênio (N) em direção ao presente na unidade mais recente. Associado às mudanças nas condições ambientais naturais devido ao contínuo aporte de lama efetuado no Antropoceno pelo delta-intralagunar do rio Ipojuca. A coluna sedimentar possui uma alta taxa de sedimentação ($0,65 \text{ cm.ano}^{-1}$) com uma

mudança na qualidade da MO local, mais enriquecida em $\delta^{15}\text{N}$ (MO de origem bacteriana) ainda na unidade basal. Os dados do índice de estado trófico indicam sedimentos hipereutróficos a partir da Unidade II (1800 - 1975), quando comparados à unidade basal (oligotrófico) associado à economia canavieira da época. A unidade basal é ligeiramente mais marinha do que o restante do testemunho e a Unidade mais recente é marcada pelo aumento de teores orgânicos e mudanças no padrão sedimentar decorrente das mudanças ocorridas no complexo estuarino para o período.

Palavras-chave: matéria orgânica sedimentar; Porto de Suape; geoquímica estuarina; carbono orgânico; evolução sedimentar; impactos ambientais.

ABSTRACT

The estuarine-lagoon systems in Ipojuca, Merepe, Tatuoca, Massangana and Suape Bay (8°20'S/34°57'W) rivers are located 40km south of Recife (PE), where is located the Suape Port-Industrial Complex (CIPS). The present work aims to establish and evolve knowledge about the current and recent sedimentary dynamics in the estuarine system of the Ipojuca and Merepe rivers (PE) of the Sedimentary Organic Matter (SOM). Initially, a survey of the study of SOM in the estuaries of Pernambuco was carried out in order to provide a theoretical basis for the theme in the region and to aid the discussion of the results of the study area. Subsequently, a superficial seasonal analysis of the sediments was carried out in order to obtain the current sedimentary dynamics and finally, an analysis of the sediments over 320 years in order to recognize the dynamics of the recent sediments through the sedimentary core. The results indicated that the sediments are, in general, sandy litoclastic, with low contents of Organic Matter (OM) of predominantly continental and mixed origin, conditioned by the types of sediments (sandy or muddy) and by the different inputs of materials to which each sub-environment is submitted and influenced by: hydrodynamics, local depth and geology. The structural changes suffered by the CIPS installation are reflected in the sedimentary composition and the system is influenced by seasonality (winter and summer). It was possible to identify preferential areas for deposition at: internal port; Suape bay, Massangana estuary, inner platform, Muro Alto lagoon, Ipojuca bay, and the estuaries of the Ipojuca and Merepe rivers as a result of changes, mainly in the bottom morphology of Ipojuca bay and shallow bathymetry. Despite high OM values when compared to other Pernambuco estuaries, Total Organic Carbon (TOC) levels are low and below the alert value of the CONAMA resolution (10%). Through analysis of the sedimentary record, it was possible to associate the changes that occurred in the use and occupation of the soil through the change of the geochemical signatures along the core. There is a noticeable increase in sludge, OM and Nitrogen contents towards the present in the most recent unit. Associated with changes in natural environmental conditions due to the continuous input of mud made in the Anthropocene by the delta-intralagunar of the Ipojuca River. The sedimentary column has a high sedimentation rate (0.65 cm.year⁻¹) with a change in the quality of the local MO, more enriched in $\delta^{15}\text{N}$ (OM of bacterial origin) even in the basal unit. The trophic

state index data indicated hypereutrophic sediments from Unit II (1800 - 1975), when compared to the basal unit (oligotrophic) associated with the sugarcane economy at the time. The basal unit is slightly more marine than the rest of the core and the most recent Unit is marked by an increase in organic contents and changes in the sedimentary pattern due to the changes that occurred in the estuarine complex in the period.

Keywords: sedimentary organic matter; Suape Port; estuarine geochemistry; organic carbon; sedimentary evolution; environmental impacts.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	DINÂMICA E COMPORTAMENTO SEDIMENTAR: SUA IMPORTÂNCIA COMO PARÂMETRO AMBIENTAL DENTRO DOS CENÁRIOS RELACIONADOS ÀS MUDANÇAS GLOBAIS	13
2	JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE.....	17
3	OBJETIVOS.....	18
3.1	OBJETIVO GERAL.....	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.1	LOCALIZAÇÃO E CONDIÇÕES GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.2	PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS NA IMPLANTAÇÃO DO CIPS.....	20
4.3	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	21
4.4	HIDROGRAFIA E PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS.....	24
4.5	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	27
5	METODOLOGIA	28
6	RESULTADOS	32
6.1	ARTIGO 1 – “POTENCIAL DE ESTOQUE DE CARBONO EM ESTUÁRIOS DE PERNAMBUCO: CONTEXTO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS”	32
6.2	ARTIGO 2 – “CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO SAZONAL DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR EM SISTEMAS ESTUARINOS TROPICAIS SOB A INFLUÊNCIA COMUM DE UM COMPLEXO INDUSTRIAL-PORTUÁRIO”	76
6.3	ARTIGO 3 – “RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO SEDIMENTAR E DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DOS RIOS IPOJUCA E MEREPE (PE)”	112
5	CONCLUSÃO	136
	REFERÊNCIAS	139

1 INTRODUÇÃO

Os altos contingentes de população na zona costeira significam a grande importância dessas regiões para a sociedade, mas a presença humana nos ambientes costeiros que a compõe também contribuiu para sua alteração e deterioração em uma base global, em especial dos sistemas estuarinos (DIAZ & ROSENBERG 2008, LOTZE 2010, RABALAIS et al., 2010). Embora os estuários representem em área menos de 1% da superfície da Terra, 22 das 33 maiores cidades do globo estão localizadas em ambientes estuarinos (VALLE-LEVINSON, 2010). Eles estão distribuídos ao redor do mundo com diferentes características, sendo habitats naturais e berçário de diversas espécies de organismos, tais como: moluscos, crustáceos, peixes, aves, répteis e mamíferos (WOLANSKI et al., 1992). E são classificados em distintos tipos morfológicos: fiordes, rias, planície costeira, de frente deltaica, de barras arenosas, laguna costeira, estuários cegos e estuários tectônicos. Desta forma, o resultado deste intenso uso levou a um declínio da qualidade ambiental dos estuários em escala global, fazendo com que suas águas e sedimentos, bem como os da plataforma continental adjacente, sejam geohabitats seriamente ameaçados devido às mais diversas atividades, tais como: contaminação e poluição urbano-industrial, sobrepesca, perda de habitats e eutrofização (WOLANSKI et al., 2019). Observa-se ainda que em países subdesenvolvidos a pressão sobre esses sistemas estuarinos é ainda mais agressiva, dada a ausência de sistemas de gestão costeiras mais apropriados e eficientes.

Estuários são definidos como a porção marinha de um vale fluvial afogado que recebe sedimentos de fontes fluviais e marinhas influenciados por marés, ondas e processos fluviais composto por diversos tipos de ambientes transicionais (DALRYMPLE et al., 1992). O qual pode conter fácies influenciada pelos processos fluviais, ondas e marés. Devido às suas condições particulares em relação a aportes e hidrodinâmica, são áreas altamente produtivas e sítios transicionais dos fluxos fluviais e do transporte efetuado pela deriva costeira em diferentes escalas espaço-temporais (SCHUBEL & CARTER, 1984; MIRANDA et al., 2002). São classificados em relação às propriedades físicas das águas em três tipos principais: verticalmente homogêneos, parcialmente misturados e altamente estratificados (MIRANDA et al., 2002). Em se considerando as variações do regime hidrológico/aporte fluvial e a modulação sinódica das marés, a taxa de retenção de sedimentos devido ao efeito

filtrante, este é bem variável no tempo e espaço, sendo maior nos estuários parcialmente estratificados (DYER, 1995; HOSSAIN et al., 2001; CHANT & STONER, 2001).

Os estuários, como ambientes costeiros deposicionais, podem ser poluídos por múltiplas fontes, como efluentes industriais, descarga de esgoto, entrada de material solúvel e particulado de rios, entre outros (MATTHIESSEN & LAW, 2002; HU et al., 2015; XAVIER et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2020; PASSOS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021). Portanto, este tipo de ambiente oferece condições ideais para o desenvolvimento de estudos que caracterizam a geologia ambiental, uma vez que acumulam e preservam sedimentos e matéria orgânica proveniente de fontes fluviais e oceânicas cujos seus constituintes são sensíveis às mudanças ambientais e climáticas (PORTELA, 2013; PARDAL et al., 2019).

A área de estudo faz parte do sistema estuarino-lagunar dos rios Ipojuca e Merepe que originalmente compunha a região estuarina-lagunar do Ipojuca/Massangana – Suape. As lagunas são definidas como espelho de água costeiro raso, segregado do oceano por uma barreira ou restinga, ligada ao oceano ao menos por um canal fixo ou intermitente, apresentando, normalmente, orientação paralela à linha de costa (PHLEGER, 1969; KJERFVE, 1994).

Atualmente, o sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana – Suape abriga o complexo industrial portuário de Suape (8,20°S/34,57°W) que se localiza a cerca de 40 km ao sul do Recife. Foi idealizado como forma de reerguer e desenvolver o crescimento econômico do Estado (BARCELLOS & SANTOS, 2018) e criado com a concepção moderna de logística que integra porto e indústria, serve como principal fator de desenvolvimento da economia regional. Por outro lado, desde sua construção ocorreram modificações significativas nas características ecológicas e ambientais da área, devido às intensas interferências advindas dessa ocupação recente e atividades humanas no meio ambiente costeiro local (KOENING et al., 2002).

Desta forma, a região estuarina-lagunar do Ipojuca/Massangana – Suape, passou por uma série de alterações físicas e estruturais. De acordo com Fernandes (2000) e Barros (2009), os principais processos impactantes em Suape estão relacionados à dragagem, assoreamento/erosão; derrocamento do recife; aterros sobre a linha recifal, manguezal e planície costeira; supressão dos manguezais adjacentes; tráfego de embarcações de grande porte; e as descargas de efluentes

industriais e domésticos, principais fontes de contaminação das águas e sedimentos com metais pesados e poluentes orgânicos. Pessoa et al. (2009) afirmam que dos processos citados, o mais danoso é a atividade de dragagem da Baía de Suape, que além de alterar a geomorfologia, sedimentação e hidrodinâmica, proporcionam uma disposição excessiva de material em suspensão que tem afetado a biota da coluna d'água e de fundo locais.

Do ponto de vista da dinâmica sedimentar costeira, grande parte da área original Baía de Suape e sistema estuarino-lagunar dos rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe (figura 1), foram profundamente modificados com a construção e incremento da capacidade do complexo portuário. O sistema costeiro que originalmente era contínuo e com uma conexão livre com o oceano junto ao Cabo de Santo Agostinho, foi aterrado parcialmente e passou a ser seccionado em 3 porções distintas: (1) Baía de Suape/Estuário do Rio Massangana, (2) Estuário do Rio Tatuoca e (3) Estuário dos rios Ipojuca/Merepe; apresentando no presente duas desembocaduras artificiais, fruto de aberturas na linha recifal externa por meio de derrocamento dos arenitos de praia que protegiam naturalmente o sistema estuarino original à retaguarda.

Figura 1: Configuração do sistema estuarino-lagunar de Suape antes (1974) e após a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape (BARCELLOS & SANTOS, 2018).

Dentre os estuários que fazem parte da região estuarina-lagunar do Ipojuca/Massangana – Suape, os dos rios Ipojuca e Merepe, que já sofriam com o lançamento de efluentes orgânicos, agrícolas e industriais ao longo de seus cursos d'água, tiveram seus problemas agravados com a supressão de extensas áreas de manguezal, o aterro da foz desses rios, a construção de uma desembocadura artificial e o bloqueio da comunicação desses rios com o mar, devido à construção de molhes para atracação de navios. Todas essas alterações resultaram no represamento do fluxo de suas águas, ocasionando inundações nas áreas utilizadas pela agroindústria da cana-de-açúcar (CONDEPE, 1983; BRAGA et al., 1989; CPRH, 2003).

O rio Ipojuca nasce no Agreste pernambucano, percorre aproximadamente 250 km, destes 15 km são de área estuarina, até desaguar no Oceano Atlântico. Ao longo de seu percurso drena uma área de 3.515 Km², passando por 25 municípios e atendendo a uma população de aproximadamente 568.630 pessoas (CONDEPE,

1983; CPRH, 2003). Os usos múltiplos de suas águas vão desde abastecimento público a recepção de efluentes. Já o uso do solo ao longo da bacia destina-se a ocupação urbana e industrial, áreas cultivadas com cana-de-açúcar, policulturas, pecuária e áreas com remanescentes de Mata Atlântica e Manguezal. Esses múltiplos usos das águas e do solo do rio Ipojuca ao longo de seu percurso, faz com que este receba uma carga orgânica poluidora diária muito elevada (CPRH, 2003). Segundo o IBGE (2010), o rio Ipojuca é um dos rios do estado que sofreu maiores alterações na configuração de sua calha e desembocadura. E alterações em seu regime fluvial pela construção de barragens.

O rio Merepe é um rio litorâneo, apresenta um extenso manguezal, próximo a sua foz encontra-se com o rio Ipojuca, desaguando juntos ao sul do Porto de Suape. Embora seja de dimensão reduzida, desempenha um importante papel na manutenção dos ecossistemas e das comunidades em sua área de influência (CPRH, 2003).

O presente trabalho foca nos processos dinâmicos que controlam a evolução morfossedimentar e preenchimento do sistema estuarino-lagunar dos rios Ipojuca e Merepe. A abordagem consiste em quatro componentes: dinâmica sedimentar atual e recente; avaliação do preenchimento sedimentar holocênico; histórico da atividade antrópica; e prognóstico do comportamento sedimentar dentro dos cenários relacionados às mudanças globais.

1.1 DINÂMICA E COMPORTAMENTO SEDIMENTAR: SUA IMPORTÂNCIA COMO PARÂMETRO AMBIENTAL DENTRO DOS CENÁRIOS RELACIONADOS ÀS MUDANÇAS GLOBAIS

Os sedimentos refletem todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático (SANTOS et al., 2017). Por apresentarem essa característica dinâmica, a distribuição e composição de sedimentos recentes em estuários resultam de relações complexas entre os processos geológicos e a hidrologia da região (PARDAL, 2019). Os depósitos sedimentares costeiros são capazes de armazenar características de agentes atuantes, podendo ser utilizadas como ferramentas para entender os processos que caracterizam o ambiente e são capazes de analisar o nível de influência antrópica direcionado ao mar (FAIRBRIDGE, 1989). Eles também desempenham um papel fundamental na ciclagem de carbono e outros elementos

biogênicos por meio da troca e modificação de matéria orgânica fornecida do continente para a zona costeira e oceanos (SANDERS, 2014).

A sedimentação nos sistemas estuarinos permite conhecer um pouco mais sobre a história/evolução da Terra, ajudando a interpretar a sedimentologia, geoquímica e a geomorfologia de sistemas estuarinos, bem como a origem, energia hidrodinâmica, erosão, transporte e acumulação dos sedimentos estudados (BARCELLOS & FURTADO, 2006; PARDAL, 2019).

Os estudos sobre a matéria orgânica sedimentar permitem avaliar condições ambientais de áreas sedimentares propiciando análises sobre suas condições naturais e inferências sobre a ação antrópica nas mesmas. A associação das concentrações de matéria orgânica com a distribuição sedimentar, com a origem do material orgânico e condições de oxirredução do fundo, possibilita a compreensão do processo de sedimentação e dos diferentes fatores que interferem no processo, tanto no tempo quanto no espaço (BARCELLOS, 2005; SANTOS & BARCELLOS, 2017). Nos estuários, ao contrário dos grandes sistemas fluviais que desaguam água doce diretamente no oceano adjacente durante períodos de alto fluxo, a matéria orgânica é retida antes de ser descarregada nas águas costeiras, principalmente nos estuários parcialmente estratificados (CHANT & STONER, 2001). Durante esse período de retenção, a matéria orgânica de fontes terrestres e antropogênicas é alterada por uma combinação de processos bióticos e abióticos, incluindo respiração microbiana, foto oxidação, floculação ou eliminação e sedimentação (CAÑUEL et al., 2012). No entanto, alguns parâmetros da matéria orgânica (C/N elementares e os isótopos estáveis de carbono) se conservam nos sedimentos de fundo como observado por MEYERS & EADIE (1993) e MEYERS (1997).

O carbono e o nitrogênio são os dois constituintes principais da matéria orgânica. O carbono proveniente dos continentes chega aos estuários através dos rios, fluxo de água subterrânea e deposição atmosférica. As entradas fluviais são normalmente mais importantes, e sua composição depende do tipo de vegetação, solo e litologia da bacia de drenagem, hidrologia, clima, além da influência antrópica, que são as condições de contorno de uma bacia de drenagem (SOUZA et al., 2012; JOB et al., 2018; JOB et al., 2020). Ao chegar nos estuários e lagunas costeiras o carbono orgânico é parcialmente retido nas bacias de sedimentação estuarino-lagunares ou áreas marginais destes, especialmente associadas aos manguezais e prados de fanerógamas, onde são depositados e incorporados ao registro

sedimentar, a depender do espaço de acomodação local, existente ou não (WOODROFFE, 2002; PORRIT et al., 2020).

O nitrogênio é encontrado em 4 formas: orgânico dissolvido (uréia e aminoácidos), orgânico particulado (organismos e detritos), inorgânico dissolvido (nitrogênio molecular (N₂), amônia (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻) e inorgânico particulado, nos quais as bactérias realizarão processos de ciclagem (decomposição, sinterização, mineralização, redução e formação), disponibilizando esse material para o meio marinho (BARCELLOS, 2000). Rios, lagos e estuários, submetidos às ações antrópicas, podem apresentar elevadas concentrações de nitratos na água (como amônia em áreas costeiras) (GALLOWAY et al., 2003; BARCELLOS, 2000).

Bordovskiy (1965) sugere estudos baseados nas análises da razão C/N, onde é possível avaliar a influência relativa da matéria orgânica de origem marinha ou terrígena. Os valores na ordem de: 4 a 7 e 8 a 12, para a razão C/N, indicam organismos fitoplanctônicos e misturas de material planctônico com plantas terrestres, respectivamente. Saito et al. (1989) sugerem que valores > 20, indicam aporte continental.

O uso da razão isotópica de N e C para detectar a origem da matéria orgânica terrestre e marinha está correlacionado à assinatura isotópica específica que tem os diferentes fontes e processos, ao comportamento conservativo (principalmente as frações mais pesadas) e à uma resposta linear para a correlação física entre os compartimentos de origem (KRISHNA et al., 2015).

Esforços para restaurar estuários e habitats costeiros associados têm implicações importantes para melhorar as funções ecológicas e fornecer proteção e resiliência aos ecossistemas e à sociedade humana em face de outras alterações, como as mudanças climáticas. E sabe-se que estes ambientes sedimentares são muito sensíveis a alterações físicas e morfológicas decorrentes dos impactos sob diferentes cenários relativos ao clima no futuro, tais como variações do nível do mar e aumento da frequência de eventos extremos. Desta forma, apesar dos oceanos desempenharem um papel fundamental no fornecimento de feedbacks climáticos e na regulação de carbono, os feedbacks dos estuários estão atraindo cada vez mais atenção (MATEAR et al., 2010; STATHAM, 2012). Os ambientes aquáticos, terrestres e transicionais têm um grande potencial para retardar ou ampliar o aquecimento global (FINZI et al., 2011; TRIMMER et al., 2012) e representam um

papel chave no ciclo do carbono global (DIESING et al., 2017; MATOS et al., 2020; ROVAI et al., 2018).

2 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESES

Diante das alterações que o Complexo Industrial Portuário de Suape vem sofrendo nas últimas décadas, principalmente o sistema estuarino dos rios Ipojuca e Merepe, estudos sobre a dinâmica sedimentar recente nesse sistema são necessários. Isso decorre, para que se possa equacionar o potencial da área em suportar as alterações antrópicas advindas das questões ambientais existentes, além de gerar subsídios científicos para interpretação de seu comportamento em uma perspectiva futura.

Com base no refinamento de conhecimentos sobre os processos dinâmicos atuais, é imprescindível realizar a integração dos dados sobre a dinâmica sedimentar (fácies de superfície de fundo, material em suspensão e coluna estratigráfica rasa), com estudos sobre a topografia de fundo, matéria orgânica sedimentar e suas possíveis fontes no sistema, como forma de ordenar em uma perspectiva integrada o processo sedimentar na área, o histórico da atividade antrópica e, se possível, suas relações com as mudanças globais. Diante disto, o presente trabalho baseia-se na seguinte hipótese: O uso e ocupação do solo em conjunto com a instalação e continuidade de ampliação do Complexo Industrial Portuário de Suape, acarretaram as mudanças no comportamento e padrão da sedimentação, e na qualidade dos sedimentos no decorrer das últimas décadas.

3 OBJETIVOS

Nesta seção é descrito o objetivo geral e seus respectivos objetivos específicos.

3.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer e evoluir os conhecimentos sobre a dinâmica sedimentar atual e recente no sistema estuarino dos rios Ipojuca e Merepe (PE).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Evoluir o conhecimento sobre a distribuição granulométrica dos sedimentos e dinâmica sedimentar atual (sazonal) e recente (coluna sedimentar rasa) ao longo do sistema estuarino-lagunar e na plataforma interna adjacente à desembocadura (-10m);
- b) Determinar a distribuição espaço-temporal do Carbono orgânico e Nitrogênio com intuito de identificar áreas de possível acumulação de poluentes com base nos dados sedimentológicos gerados, além de áreas submetidas a impactos atuais no presente;
- c) Comparar a matéria orgânica sedimentar com ênfase no Carbono orgânico com os demais estuários pernambucanos;
- d) Avaliar de que modo a distribuição sedimentar e da matéria orgânica é afetada pela ação conjunta de determinados agentes e fatores, tais como: fisiografia da região, hidrodinâmica (marés e correntes), sistema hidrográfico e sazonalidade;
- e) Avaliar as taxas de sedimentação de zonas deposicionais e a quantidade/qualidade/origem do material acumulado, utilizando a matéria orgânica sedimentar (elementar/isotópica);
- f) Estudar os registros de variações ambientais ocorridas no sistema costeiro por meio das características das sequencias sedimentares e fazer um histórico sobre a atividade antrópica na área, utilizando a matéria orgânica sedimentar como indicadores ambientais.

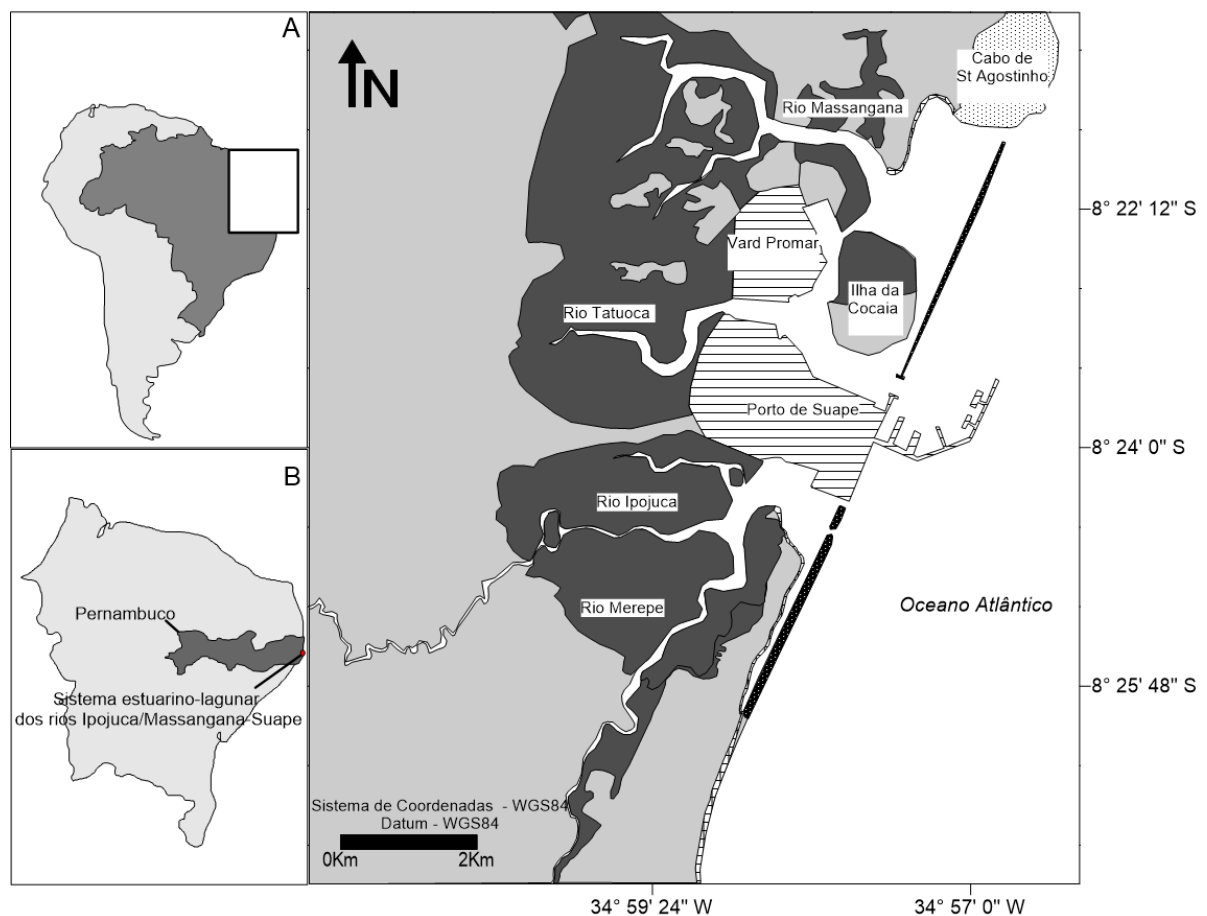
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta seção é descrito a localização, geologia, geomorfologia, hidrografia, os parâmetros oceanográficos, o uso e ocupação do solo e os principais acontecimentos históricos desde a implantação do CIPS.

4.1 LOCALIZAÇÃO E CONDIÇÕES GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O estuário-lagunar do rio Ipojuca está localizado no litoral de Pernambuco ($8^{\circ}22'S/34^{\circ}57'W$), entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (figura 1), ocupando aproximadamente 13.600ha, dos quais 3.232,58ha correspondem à Área do Porto Organizado (PORTO DE SUAPE, 2020).

Figura 1 - Localização do sistema estuarino lagunar dos rios Ipojuca/ Massangana – Suape



Fonte: Santos (2022).

Como já mencionado, o estuário-lagunar do rio Ipojuca faz parte do sistema estuarino-lagunar Ipojuca/Massangana – Suape, cujo era formado pela confluência dos rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe em uma única lagoa costeira, no qual era separada do oceano por um recife de arenito reto com uma entrada na extremidade norte (ZANARDI-LAMARDO *et al.*, 2018). Durante a instalação do CIPS, o sistema estuarino foi aterrado parcialmente seccionando-o em duas seções o rio Ipojuca e Merepe (baía de Ipojuca), na parte sul, e o Rio Massangana e Tatuoca (baía de Suape), na parte norte (BARCELLOS & SANTOS, 2018) (Figura 2). Uma entrada foi aberta para permitir o acesso de navios de tração no porto interno e molhes offshore também foram construídos para criar uma área protegida para atracação de navios na Baía de Suape (ZANARDI-LAMARDO *et al.*, 2018). Para desafogar a região do estuário-lagunar de Ipojuca, uma desembocadura artificial foi construída, fruto de aberturas na linha recifal externa por meio de derrocamento dos arenitos de praia (beachrocks) que protegiam naturalmente o sistema estuarino original à retaguarda para desaguar as águas dos rios Ipojuca e Merepe (OLIVEIRA *et al.*, 2019) favorecendo a intrusão das águas marinhas dentro de toda área de estudo (FABIN *et al.*, 2020).

No que se refere à climatologia, o clima é tropical úmido Aw', com temperatura média anual de 25°C e estação úmida no outono inverno (de abril a agosto) (2000mm/ano) (BARCELLOS & SANTOS, 2018). Distribuídos de modo desigual entre os períodos seco (1500 mm/ano) e chuvoso (500 mm/ano), com predomínio de ventos de leste e sudeste (Porto de Suape, 2020).

4.2 PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS NA IMPLANTAÇÃO DO CIPS

O quadro 1 apresenta os principais acontecimentos históricos no CIPS desde a sua implantação e suas principais intervenções no sistema estuarino em estudo, que causaram grandes impactos, realizadas na área até o ano de 2016:

Quadro 1 - Principais intervenções realizadas no Complexo Industrial Portuário de Suape com seu respectivo ano

Ano	Principais Intervenções
1974	Lançamento da pedra fundamental das obras de construção do Complexo;
1975	Conclusão do primeiro Plano Diretor do Complexo;
1977	Início de desapropriação das primeiras terras, que viriam a totalizar os 13.500 hectares atuais;
1978	Criação e instalação da empresa Suape Complexo Industrial Portuário;
1979	Construção do Centro Administrativo; Construção das barragens de Bita e Utinga (município de Ipojuca); Dragagem do istmo de Cocaia formando a ilha de Cocaia; Aterro do trecho entre o arrecife e o continente, bloqueando a foz do Ipojuca para construção do Parque de Tancagem para granéis líquidos;
1980	Construção do molhe exteriormente ao cordão de recifes, para formação do porto externo;
1981	Instalação de píer de granéis líquidos e gasosos no porto externo;
1982	Implantação de rodovias e ferrovias (internas);
1983	Rebaixamento dos arrecifes em frente à foz do Rio Ipojuca; Porto de Suape começou a operar, efetivamente, através da movimentação de álcool pela Petrobras, que utilizou o recém-inaugurado píer de granéis líquidos, o PGL 1.
1984	Foi concluído o molhe, em pedras, para proteção de entrada do porto interno, aberta no cordão de recifes;
1985	Implantação do Parque de Tancagem de granéis líquidos;
1987	Término da construção do cais de múltiplos usos; Transferência do parque de tancagem de derivados de Petróleo, de Recife e início das operações com derivados de petróleo;
1991	Início das operações no cais de múltiplos usos;
1993	Conclusão do ramal ferroviário de acesso ao porto interno;
1995	Início da construção do Porto Interno; Engordamento da praia de Suape;
1996	Início das obras de dragagem do Porto Externo e abertura do cordão de recifes;
1997	Abertura de 300 m na linha de recifes para permitir acesso aos futuros cais a serem construídos na foz dos rios Tatuoca e Massangana; Dragagens dos canais e bacias de navegação; Abertura do canal de navegação – Tatuoca;
1999	Conclusão das obras dos cais 1, 2 e 3 do Porto Interno;
2000	Início da construção das obras da usina termoeletrica;
2001	Conclusão da construção do terminal de granéis líquidos PGL 2; Início e conclusão das obras de construção e início da operação do terminal de contêineres; Início das obras de construção do cais 4, do Porto Interno;
2005	Lançada a pedra fundamental da Refinaria José Ignácio Abreu e Lima; Estaleiro Atlântico Sul;
2007	Conclusão das obras de construção do cais 4 do Porto Interno;
2008	Início da construção da Petroquímica Suape;
2009	Conclusão das obras de construção do cais 5 do Porto Interno;
2010	LEI Nº. 14.046, de 30 de abril de 2010 autoriza supressão de vegetação de preservação permanente
2011	Início das obras de recuperação dos cabeços Norte e Sul; Início da construção do Acesso Rodoferroviário; Início Dragagem do Canal de Acesso Externo do Porto de Suape; Início da Dragagem para implantação do Estaleiro Promar;
2012	Início da construção da estrutura do Estaleiro Promar;
2013	Término das obras de recuperação dos Cabeços Norte e Sul; Conclusão das Obras do Estaleiro Promar; Início da operação parcial da Petroquímica Suape;
2014	Início da Pré-Operação da Refinaria Abreu e Lima.
2015	Foi concluído o acesso rodoviário à Ilha de Tatuoca, onde estão localizados os estaleiros;
2016	Dragagem do alargamento do canal 01 do cluster naval de Suape.

Fonte: Oliveira (2019).

4.3 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Segundo Neumann et al. (1998), a compartimentação geomorfológica da região de Suape reconhece três compartimentos distintos: domínio colinoso, rampas de colúvio e a planície costeira. E a classificação geomorfológica de Silva et al.

(2011) para este estuário é do tipo “laguna costeira estuarina”. As principais unidades sedimentares geológicas da área de estudo, localizadas na Bacia Sedimentar Marginal de Pernambuco são: Formação Cabo; Formação Estiva; Formação Barreiras, Formação Algodoads; Suíte Magmática de Ipojuca e depósitos quaternários (CRUZ et al., 2003) (figura 2). Os ambientes encontrados nas adjacências do sistema estuarino em estudo compreendem manguezais, praias arenosas, recifes, prados de gramas marinhas, entre outros (PORTO DE SUAPE, 2020). Os sedimentos estuarinos são geralmente arenosos, siliciclásticos e moderadamente selecionados (SHEPARD, 1954; FOLK E WARD, 1957; LARSONNEUR, 1977) com baixos conteúdos de MOS (SANTOS et al., 2019).

4.3.1 Formação Cabo

A Formação Cabo é composta por conglomerados e arenitos arcoseanos, interligados por siltitos finamente estratificados e micáceos (CRUZ et al., 2003). A passagem da fácies conglomerática para a arcoseana é quase sempre gradacional e intergitada no sentido lateral (BARROS, 2009; OLIVEIRA, 2019).

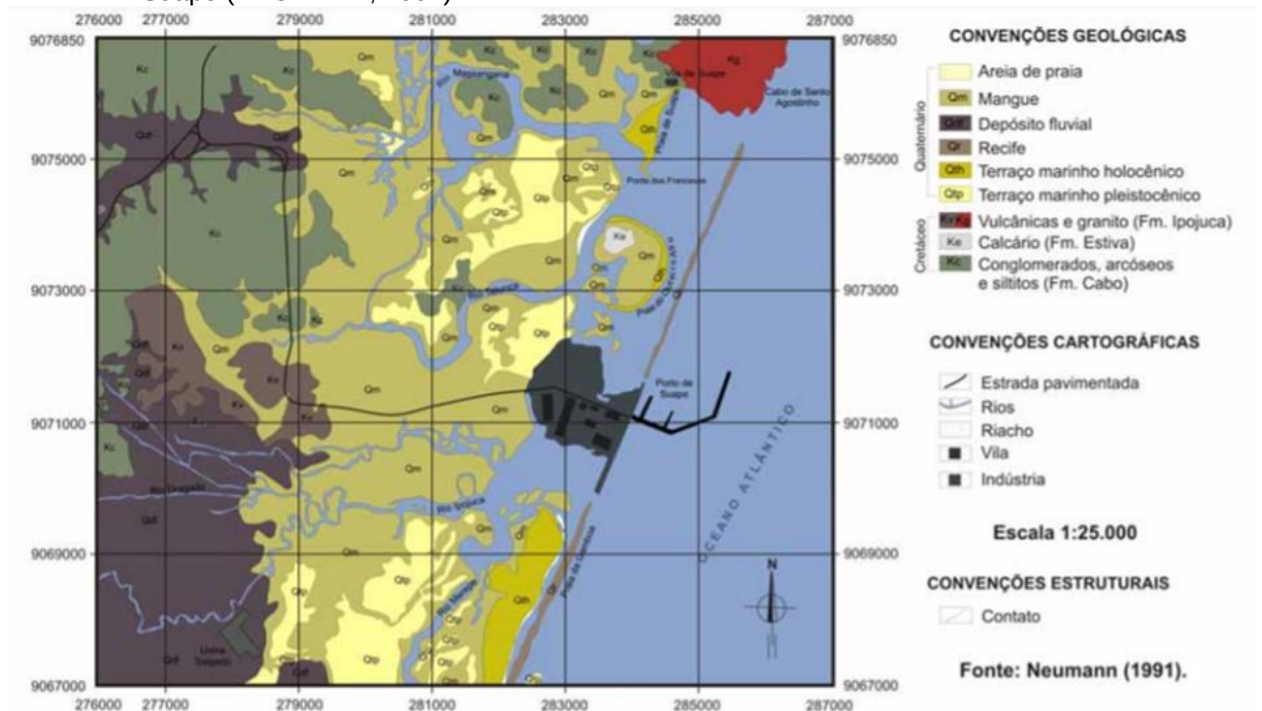
4.3.2 Formação Estiva

A formação Estiva é caracterizada por três ciclos transgressivos com camadas de calcário intercaladas com finas camadas de siltitos (LIMA FILHO, 1994; BARROS, 2009). Segundo Tomé et al. (2006), os afloramentos conhecidos da Formação Estiva estão localizados no Engenho Gameleira (próximo da praia de Tamandaré), na praia de Cocaia e do Outeiro Alto. Barros (2009), afirma que as rochas dessa unidade litológica afloram exclusivamente em uma pequena área a noroeste da Ilha de Cocaia, localizada dentro da Baía de Suape (BARROS, 2009).

4.3.3 Formação Barreiras

A formação Barreiras representa a evolução de um sistema fluvial, construído em fortes gradientes e sob clima predominantemente árido, sujeito a oscilações. É caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e de fácies transicionais para leques aluviais (ALHEIROS & LIMA FILHO, 1991).

Figura 2 - Mapa Geológico da região do sistema estuarino-lagunar dos rios Ipojuca/Massangana-Suape (NEUMANN, 1991)



Fonte: Neumann (1991)

4.3.4 Formação Algodoads

A Formação Algodoads se caracteriza por apresentar rochas que repousam em discordância angular ou erosional, ora sobre os tipos litológicos da Formação Cabo ora sobre os litotipos da Suíte Magmática Ipojuca e sobre os carbonatos da Formação Estiva. O contato com a Formação Barreiras se caracteriza por uma discordância erosional que apresenta níveis basais de conglomerados e arenitos conglomeráticos, constituindo um marco estratigráfico que segrega a Formação Algodoads da Formação Barreira (LIMA FILHO,1998).

4.3.5 Suíte Magmática de Ipojuca

A Suíte Magmática do Ipojuca é formada por rochas vulcânicas e subvulcânicas (basaltos, traqui-basaltos e traquitos, riolitos) e equivalentes piroclásticos dos dois últimos, e pelo Granito do Cabo de Santo Agostinho (figura 3), ocorrendo exposições esparsas por toda a Bacia Pernambuco (LIMA FILHO,1998).

Figura 3 - Vista aérea do Cabo de Santo Agostinho, suíte magmática de Ipojuca



Fonte: Barcellos (2011)

4.3.6 Depósitos quaternários

A cobertura quaternária da área estudada é por sedimentos dos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, recifes, depósitos flúvio-lagunares, mangues e areias de PRAIAS (BARROS, 2009). Segundo Lima (2011) as unidades mais antigas são recobertas na faixa continental por sedimentos mais recentes do Néogeno, Terraços Marinhos Pleistocênicos, Terraços Marinhos Holocênicos, Sedimentos Flúvio-Lagunares, Sedimentos Aluvionares, sendo conspicuamente recobertos pelos manguezais.

4.4 HIDROGRAFIA E PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

As marés registradas na região são semidiurnas, sendo classificadas em termos de amplitude como mesomarés, cuja altura média é em torno de 2 m na sizígia e de 0,7m na quadratura (PORTO DE SUAPE, 2020) variando entre 1,5 e 3,5 m (SCHETTINI et al., 2016), portanto submetido a um regime de mesomarés. Com relação ao regime de ondas, Barros et al. (2010) observou que no período de outono e primavera, há uma predominância de valores em torno de 1,0 m, no verão oscilam entre 0,85 e 1,0 m e no inverno, alcançam os maiores valores anuais, em torno de 1,25 m. A altura significativa média anual na área já referida atinge 1,11 m. Os períodos das ondas mencionadas ficam em torno de 6,5 s, para as condições de

outono, inverno, primavera, e 5,0 s, no verão com o período médio na ordem de 6,28s.

A hidrografia da área de estudo é composta por duas categorias de rios: os costeiros - Massangana (102 km²), Tatuoca (13 km²) e Merepe (87 km²), que fazem parte das Pequenas Bacias Hidrográficas Costeiras; e um rio translitorâneo, o Ipojuca com 135 km² de área estuarina, que faz parte da bacia do Ipojuca (NEUMANN, 1991; OLIVEIRA et al., 2019). Na Baía de Suape, observa-se uma predominância da corrente de deriva no sentido norte, com velocidade máxima da ordem de 0,50m/s setor externo da linha de beachrocks e 0,8m/s no interior da bacia durante maré extremamente elevada, decrescendo para 0,1m/s nas proximidades da praia. No setor interno a linha de recife, foram medidas as maiores correntes durante os estágios de marés enchente e vazante. As correntes medidas tiveram intensidade de 0,07- 0,8m/s durante o período de estiagem e entre 0,26 e 1,44m/s durante o período chuvoso (PIRES ADVOGADOS & CONSULTORES, 2000; FABIN et al., 2020).

Na porção Sul do sistema (estuário-lagunar de Ipojuca), o aporte fluvial é maior, advindo do estuário do Rio Ipojuca com bacia hidrográfica de aproximadamente 3,433 km² e vazão média de $\sim 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com regime temporário no agreste Pernambucano e perene ao adentrar a Zona da Mata (PERNAMBUCO, 1998; KOENING et al., 2002). A zona estuarina do Rio Ipojuca é classificada por Lins & Medeiros (2018) como subtipo 1b, com estratificação moderada a forte com circulação dominada pelas marés, resultando em um transporte líquido de descarga tanto no período chuvoso quanto na estiagem. As correntes mais intensas identificadas para a região foram de 71,4 a 89,6 cm.s⁻¹ na maré de sizígia no período chuvoso no alto estuário do rio Ipojuca e menos intensas <50 cm.s⁻¹ no período de estiagem (LINS, 2018).

Segundo Conti et al. (2018), a região estuarino-lagunar de Suape apresenta uma topografia de fundo de alta complexidade. Eles observaram um canal de fluxo associado à foz do Massangana o qual se estende até o centro da área da baía lagunar. Duas áreas rasas ao longo dos planos do canal são determinadas por planícies planas associados à Ilha de Cocaia e a Praia de Suape, delimitados localmente por encostas íngremes. Uma área mais profunda na parte central de a lagoa é determinada pela classe de "Depressão", com profundidades maiores que 5 m, cercado por declives suaves. Fabin et al. (2020) observaram que até a

profundidade 1,7m, as isóbatas possuem um alinhamento paralelo à linha de costa e apresentando um baixo gradiente de declividade, tanto nas praias de Suape e Paraíso, como a Ilha de Cocaia. Eles também ressaltam que na região mais afastada da praia ocorre um aumento das profundidades, no sentido NE, na direção da abertura entre os beachrocks e o Promontório do Cabo de Santo Agostinho, formando um talude que apresenta um aumento no gradiente de declividade, passando rapidamente das cotas de 2,0m profundidade para as cotas de 7,0m, voltando a apresentar uma forma relativamente plana até a cota de 10,0m, onde se tem uma maior influência marinha. Assim como Conti et al. (2020), Fabin et al. (2020) constataram que na saída da foz do rio Massangana existe o prolongamento da calha do rio que adentra na Baía de Suape na região central.

Figura 5 - Vista aérea do estuário de Ipojuca com destaque no estreito canal aberto transversalmente ao cordão de arenito



Fonte: Barcellos (2011)

A região estuarina-lagunar de Ipojuca, apresenta baixas profundidades $<2\text{m}$, em especial no estuário do Merepe, laguna de Muro Alto e estuário do Ipojuca. Maiores profundidades são observadas junto à desembocadura e no canal principal de circulação da Baía do Ipojuca $>5\text{m}$. Vasconcelos (2019), descreveu a região 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 (Figura 5). Como feição marcante na baía estuarina no Ipojuca, pode-se citar a ocorrência de um banco arenoso emerso, onde ocorrem ao norte desse banco,

pontos de maior profundidade dentro do estuário referente ao canal original do rio antes da construção do porto.

4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O sistema estuarino-lagunar de Ipojuca/Massangana- Suape está inserido em uma área com fragmentos de mata atlântica, manguezais, lagos, lagoas e barragens. Desde a implantação do complexo portuário de Suape, evidencia-se um conflito entre as áreas de expansão urbana demandada pelos investimentos industriais com as áreas de preservação e de interesse ambiental. Além de áreas de preservação histórica composta por antigos engenhos de açúcar e igrejas do período colonial, que também vem sofrendo pressões e dificuldades de serem preservadas (OLIVEIRA, 2019). Segundo CPRH (2003), 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 complexo industrial de Suape, enquanto o uso da água dos rios é feito para o abastecimento da população, como também recebe efluentes domésticos, industriais e agroindustriais.

Com relação ao uso do solo, três zonas bem distintas podem ser identificadas: uma zona rural, a qual compreende a área de nascentes; uma zona industrial e uma zona estuarina. A zona industrial apresenta indústrias de alimentos, bebidas, cerâmicas e plásticos (FRAGA et al., 2013). Em seu estudo, Fraga et al. (2013), identificaram um total de 17 indústrias de grande porte. Parte destas lançam seus efluentes diretamente no riacho Algodoais (riacho tributário do rio Massangana), após tratamento. Outras lançam no canal artificial que por sua vez deságua no riacho Poma, o qual é afluente do riacho Algodoais, na área do alto estuário do Massangana.

5 METODOLOGIA

Esta tese está estruturada em cinco Capítulos assim descritos. O Capítulo I consiste em uma introdução geral detalhando as hipóteses e os objetivos do estudo, seguido da caracterização da área e da metodologia (estrutura da tese). Os resultados foram divididos em 3 artigos que serão submetidos para publicação em periódicos cujo escopo atenda aos objetivos de cada manuscrito. A metodologia utilizada será detalhada por capítulo nas próximas seções.

5.1 METODOLOGIA DO ARTIGO 1

No artigo 1 foi realizada uma revisão da literatura com o objetivo de ordenar os dados existentes sobre os percentuais médios de carbono orgânico e matéria orgânica total (MOT) em sedimentos dos estuários de Pernambuco, como base de dados atual para comparação, mensuração e estimativa do potencial de estoque de carbono nos sedimentos estuarinos locais. Foram listados estudos publicados em forma de monografias, dissertações, teses, artigos científicos e trabalhos apresentados em congressos científicos. Sempre que possível os conjuntos de amostras individuais ou dados de testemunhos foram utilizados e, quando necessários, os dados das médias aritméticas e ponderadas foram calculados de tabelas ou figuras (BREITHAUPT et al., 2012). No caso os dados existentes serem de MOT, o valor foi multiplicado por 0,58 para estimativa dos conteúdos de COT (ALLEN, 1974). Os resultados foram apresentados em gráficos divididos por cada tipo estuarino associado a mapas de localização do estuário para contexto de orientação.

Posteriormente, foram calculadas as taxas de estoque e acumulação de carbono em diferentes tipos fisiográficos de estuários e subambientes estuarinos, para a criação de uma segunda plataforma, com as taxas médias anuais de acumulação de carbono, seguindo os exemplos dos estudos de CHMURA et al. (2003) e BREITHAUPT et al. (2012).

5.2 METODOLOGIA DO ARTIGO 2

No artigo 2, os sedimentos superficiais foram coletados com o auxílio de uma embarcação e um amostrador pontual do tipo Van Veen no mês de setembro (estação chuvosa) de 2016 e março (estação seca) de 2017. As profundidades das amostras foram mensuradas por meio de um ecobatímetro (GPSMAP 527xs da GARMIN) e o posicionamento das estações de coleta através de um GPS Garmin-Etrex 20. Para cada cruzeiro foram coletados sedimentos superficiais em 44 estações (ST), totalizando 88 amostragens (Figura 2).

A análise granulométrica seguiu a metodologia de peneiramento e pipetagem descritas por Müller (1967) e Suguio (1973). A partir dos dados obtidos foram realizadas a classificação faciológica do diagrama textural de Shepard (1954) e a análise dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957). Por fim, para a avaliação da dinâmica estuarina foi utilizado o diagrama de Pejrup (1988).

Os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) e matéria orgânica total (MOT) foram obtidos pela diferença de peso seco entre as amostras antes e após a ataque químico com HCl e H_2O_2 a 10%, respectivamente (CARVER, 1971). Com os dados dos teores de cálcio, as estações foram classificadas segundo Larssonneur et al. (1982).

As frações elementares e isotópicas de carbono (COT e $\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio (NT e $\delta^{15}\text{N}$) foram preparadas de acordo com a técnica descrita por Hedges e Stern (1984) e processadas por um analisador elementar (Carlo Erba®, CHN-1110) acoplado a um espectrômetro de massa IRMS (Finnigan®, Delta Plus). Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) (em partes por mil) são referidos, respectivamente, ao PDB (Pee Dee Belemnite) e ao Ar (ar atmosférico). Os valores das razões elementares C/N também indicativos da origem da MOS, por sua vez, foram obtidos divisão simples entre teores absolutos de C e N de cada amostra analisada.

Para a obtenção do índice do estado trófico dos sedimentos da região seguiu a metodologia proposta por Hakanson (1984) que é baseada no indicador BPN (Bio Production Number), obtido através do cálculo $\text{BPN} = \text{NT}(\%) / \text{MOT}(\%) \times 100$, onde NT é a porcentagem de nitrogênio total da amostra e MOT é a porcentagem da matéria orgânica total no sedimentos.

Para o tratamento estatístico dos dados foi realizado a análise de correlação linear de Pearson entre os parâmetros as porcentagens de cascalho, areia, lama (silte+argila), CaCO_3 , MOT, COT, NT, e as razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$).

5.3 METODOLOGIA DO ARTIGO 3

Um testemunho sedimentar de 208 cm foi coletado em 04 de dezembro de 2017 em um banco de intermarés, adjacente à uma área de franja de mangue no baixo estuário do Rio Merepe por meio da técnica de “push-core”. O ponto de amostragem foi escolhido estrategicamente por estar localizado em uma área francamente deposicional, um baixio marginal de intermarés protegido, e não diretamente perturbado pela industrialização e urbanização e, ao mesmo tempo, localizado em um complexo industrial, associado à uma área de rápido crescimento urbano. O testemunho T10 foi aberto, descrito e subamostrado em intervalos de 2 cm. As alíquotas de sedimentos foram secas em estufa a 40°C.

As análises granulométricas foram realizadas com um analisador a laser Horiba e os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) e matéria orgânica total (MOT) foram determinados de acordo com os métodos descritos em Carver (1971), através da técnica da diferença de peso seco, antes e depois do tratamento com solução de HCl a 10% e H_2O_2 a 10%, respectivamente.

As análises de C, N e as razões isotópicas estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) foram realizadas no Centro de Energia Nuclear em Agricultura, Piracicaba (Universidade de São Paulo), segundo procedimentos de Hedges e Stern (1984). Essas análises foram realizadas através da combustão automática da amostra em um Carlo Erba, analisador elementar (CHN-1110), acoplado a um espectrômetro de massa (Finnigan Delta Plus). As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos foram separados por cromatografia, purificada e transportada por um fluxo contínuo de Hélio. Os resultados de C e N são expressos em porcentagem. Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) são referidos respectivamente ao PDB (Pee Dee Belemnite) e Air (ar atmosférico), expresso em ppm. Os valores das razões C/N foram obtidos pela simples divisão entre o conteúdo dos elementos de cada amostra analisada.

A datação dos sedimentos foi realizada pela técnica de radiocarbono da Beta Analytics, através espectrometria de massa com aceleradores (AMS), com

calibração do método de faixa de densidade de alta probabilidade e com limite de detecção de 47.000 cal AP (antes do presente). Foram datadas as alíquotas da base (206 -208 cm) através de um material vegetal (folha) e a alíquota 156-158 cm por meio de um fragmento de uma concha (bivalve) não identificada.

6 RESULTADOS

Os resultados foram divididos em 3 artigos que serão submetidos para publicação em periódicos cujo escopo atenda aos objetivos de cada manuscrito. A metodologia utilizada em cada artigo está detalhada na seção materiais e métodos de cada capítulo.

O capítulo II consiste no primeiro artigo da Tese. Este capítulo é composto pelo artigo intitulado “Potencial de estoque de carbono em estuários de Pernambuco: contexto atual e perspectivas futuras. Este artigo foi elaborado a fim de, principalmente, criar um inventário de dados sobre os conteúdos de carbono orgânico em sedimentos estuarinos pernambucanos. Com o intuito de tornar viável fazer uma comparação da matéria orgânica sedimentar, com ênfase no Carbono orgânico, entre os estuários pernambucanos no final da tese.

O capítulo III, “Características e comportamento sazonal da matéria orgânica sedimentar em sistemas estuarinos tropicais sob a influência comum de um complexo industrial portuário”, o qual traz os primeiros resultados da pesquisa em sedimentologia e geoquímica marinhas dos sedimentos superficiais, a sazonalidade dos processos sedimentares atuais, e consiste no segundo artigo da tese.

O capítulo IV, “Reconstrução da evolução sedimentar e dos impactos ambientais no sistema estuarino-lagunar dos rios Ipojuca e Merepe (PE), o qual traz resultados da pesquisa em sedimentologia e geoquímica marinhas da coluna sedimentar, no caso a evolução sedimentar decadal a secular local, que consiste no terceiro artigo da tese. E o capítulo V, consiste nas conclusões gerais dos 3 artigos elaborados com o intuito de responder aos objetivos propostos deste trabalho.

6.1 ARTIGO 1 - “POTENCIAL DE ESTOQUE DE CARBONO EM ESTUÁRIOS DE PERNAMBUCO: CONTEXTO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS”.

Luciana Dantas dos SANTOS; Rafael Cabral CARVALHO; Silvio Eduardo Matos MARTINS; Diego de Arruda XAVIER; Thaís de Santana OLIVEIRA; Tiago PASSOS; Roberto Lima BARCELLOS

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo levantar informações sobre o carbono orgânico nos sedimentos estuarinos do litoral Pernambucano por meio de uma

revisão dos dados existentes na literatura e do cálculo das taxas de acumulação de carbono presentes. Visa também contextualizar os fluxos e estoques atuais e suas perspectivas futuras em face às instabilidades geradas nestes ambientes costeiros devido aos impactos antrópicos e às mudanças climáticas. Por meio da revisão dos dados existentes e comparando os resultados obtidos de sedimentos superficiais e subsuperficiais com as médias globais estabelecidas na literatura, o estuário-lagunar do Capibaribe apresenta altos teores de carbono orgânico total (COT; 4,4%), seguido do estuário-lagunar de Suape (3,0%), Jaboatão-Pirapama (2,9%) e rio Formoso (2,1%), com conteúdos medianos. O cálculo das taxas de acumulação de carbono permitiu concluir que os acúmulos de COT são de baixos a intermediários quando comparados a outros ambientes sedimentares correlatos do globo. Os estoques de COT calculados são, entretanto, superiores aos de ambientes costeiros equatoriais e subtropicais brasileiros (109.470 gm^{-2} ; Capibaribe). Em uma perspectiva futura, se espera que as mudanças climáticas elevem os fluxos de carbono dos rios e a modificações nas estruturas e funções hidrológicas e morfológicas estuarinas, aumentando as incertezas na previsão desses fluxos e dos estoques nos sedimentos. O aumento do nível do mar complica ainda mais as previsões ao observarmos as modificações nas estruturas e funções hidrológicas e morfológicas desses estuários no futuro.

Palavras chaves: Carbono Orgânico Total (COT), estoque de Carbono, estuários.

ABSTRACT

The objective of this work was to collect information on organic carbon in estuarine sediments on the coast of Pernambuco by means of a review of existing data in the literature and the calculation of the present carbon retention rates. It also aims to contextualize current flows and stocks and their future prospects in the face of instabilities generated in these coastal environments due to anthropic impacts and climate change. By reviewing existing data and comparing the results obtained from surface and subsurface sediments with the global averages in the literature, the Capibaribe lagoonal-estuary has high levels of TOC (4.4%), followed by the Suape lagoonal-estuary (3%), Jaboatão-Pirapama (2.9%) and Formoso rivers (2.1%) with intermediate levels. The calculation of carbon accumulation rates indicate that TOC accumulation is low to intermediate when compared to correlated sedimentary environments worldwide. The calculated TOC stocks are, however, higher than those from the Brazilian equatorial and subtropical coastal environments ($109,470 \text{ gm}^{-2}$, Capibaribe). In a future perspective, it is expected that climate change will increase the carbon flows from rivers, leading to greater uncertainties in predicting these flows. Predictions will be further masked by sea-level rise, as changes in estuarine hydrological and morphological structure and function are expected.

Keywords: Total organic Carbon (TOM), Carbon Stock, estuaries

1 INTRODUÇÃO

Os altos contingentes de população na zona costeira significam a grande importância dessas regiões para a sociedade, mas a presença humana nos ambientes costeiros que a compõe também contribuiu para sua alteração e

deterioração em uma base global, em especial dos sistemas estuarinos (DIAZ & ROSENBERG 2008, LOTZE 2010, RABALAIS *et al.* 2010). Embora os estuários representem em área menos de 1% da superfície da Terra, 22 das 33 maiores cidades do globo estão localizadas em ambientes estuarinos (VALLE-LEVINSON, 2010). Desta forma, o resultado deste intenso uso levou a um declínio da qualidade ambiental dos estuários em escala global, fazendo com que suas águas e sedimentos, bem como os da plataforma continental adjacente, sejam geohabitats seriamente ameaçados devido às mais diversas atividades, tais como: contaminação e poluição urbano-industrial, sobrepesca, perda de habitats e eutrofização (WOLANSKI *et al.*, 2019). Observa-se ainda que em países subdesenvolvidos a pressão sobre esses sistemas estuarinos é ainda mais intensa, dada a ausência de sistemas de gestão costeiras mais apropriados e eficientes.

Estuários são definidos através da geologia como a porção marinha de um vale fluvial afogado que recebe sedimentos de fontes fluviais e marinhas influenciados por marés, ondas e processos fluviais (DALRYMPLE *et al.*, 1992). Os estuários estão distribuídos ao redor do mundo com diferentes características, sendo habitats naturais e berçário de diversas espécies de organismos, tais como: moluscos, crustáceos, peixes, aves, répteis e mamíferos (WOLANSKI *et al.*, 1992). E são classificados em distintos tipos morfológicos: fiordes, rias, planície costeira, de frente deltaica, de barras arenosas, laguna costeira, estuários cegos e estuários tectônicos (FAIRBRIDGE, 1980; PERILLO, 1995; KENCH, 1999; WOODROFFE, 2002). Devido às suas condições particulares em relação a aportes e hidrodinâmica, são áreas altamente produtivas e sítios transicionais dos fluxos fluviais e do transporte efetuado pela deriva costeira em diferentes escalas espaço-temporais (SCHUBEL & CARTER, 1984; MIRANDA *et al.*, 2002). São classificados em relação às propriedades físicas das águas em três tipos principais: verticalmente homogêneos, parcialmente misturados e altamente estratificados (MIRANDA *et al.*, 2002). Em se considerando as variações do regime hidrológico/aporte fluvial e a modulação sinódica das marés, a taxa de retenção de sedimentos devido ao efeito filtrante, este é bem variável no tempo e espaço, sendo maior nos estuários parcialmente estratificados (DYER, 1995; HOSSAIN *et al.*, 2001; CHANT & STONER, 2001).

O reconhecimento dos estuários de acordo com o processo dominante (rio, maré ou ondas) foi a base para a classificação de Dalrymple *et al.* (1992): dominados por marés, dominados por ondas ou dominado por rios (COOPER,

1993). E sob um ponto de vista mais amplo, Boyd *et al.* (1992) classificaram os ambientes costeiros com enfoque estratigráfico e no balanço relativo de rios, ondas e marés, indicando os diferentes estágios de preenchimento sedimentar estuarino.

Com o crescimento das populações humanas em regiões tropicais e subtropicais, o enriquecimento excessivo de nutrientes em áreas dominadas por estuários e manguezais está aumentando, levando à eutrofização costeira. Os manguezais marinhos são filtros efetivos que removem grandes quantidades de carbono orgânico total (COT) e nutrientes, embora o destino deste material filtrado é pouco compreendido, e os índices de acumulação global de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) ao lado do COT em manguezais não estão disponíveis (SANDERS *et al.*, 2014). Deste modo, os estuários desempenham um papel fundamental na ciclagem de carbono e outros elementos de origem biogênica por meio da troca e modificação de matéria orgânica fornecida do continente para a zona costeira e oceanos. Além de servir de canal para os materiais trocados entre os reservatórios terrestre e oceânico, os estuários são locais importantes para a produção, respiração e transformação de matéria orgânica. Ao contrário dos grandes sistemas fluviais que descarregam água doce diretamente no oceano adjacente durante períodos de alto fluxo, os estuários associados a rios menores geralmente retêm matéria orgânica antes de descarregá-la nas águas costeiras, principalmente os parcialmente estratificados (CHANT & STONER, 2001). Durante esse período de retenção, a matéria orgânica de fontes terrestres e antropogênicas é alterada por uma combinação de processos bióticos e abióticos que incluem respiração microbiana, foto oxidação, floculação ou eliminação e sedimentação (CAÑUEL *et al.*, 2012). No entanto, alguns parâmetros da matéria orgânica (C/N elementares e os isótopos estáveis de carbono) se conservam nos sedimentos de fundo como observado por Meyers & Eadie (1993) e Meyers (1997).

O carbono proveniente dos continentes chega aos estuários através dos rios, fluxo de água subterrânea e deposição atmosférica. As entradas fluviais são normalmente mais importantes, e sua composição depende do tipo de vegetação, solo e litologia da bacia de drenagem, hidrologia, clima, além da influência antrópica, que são as condições de contorno de uma bacia de drenagem (SOUZA *et al.*, 2012; JOB *et al.*, 2018; 2020). Ao chegar nos estuários e lagunas costeiras o carbono orgânico dissolvido e particulado terrígenos são parcialmente retidos nas bacias de sedimentação estuarino-lagunares ou áreas marginais destes, especialmente

associadas aos manguezais e prados de fanerógamas, onde são depositados e incorporados ao registro sedimentar, a depender do espaço de acomodação local, existente ou não (WOODROFFE, 2002; PORRIT *et al.*, 2020). Segundo Costa *et al.* (2011), os prados de fanerógamas constituem um ambiente costeiro caracterizado pela presença de vegetação herbácea sujeita a inundações periódicas das marés. Ricart *et al.* (2017) afirma que os prados de fanerógamas contínuos e melhor estruturados tridimensionalmente estocam mais carbono do que quando dispostos espacialmente em manchas.

Esforços para restaurar estuários e habitats costeiros associados têm implicações importantes para melhorar as funções ecológicas e fornecer proteção e resiliência aos ecossistemas e à sociedade humana em face de outras alterações, como as mudanças climáticas. Sabe-se que estes ambientes sedimentares são muito sensíveis a alterações físicas e morfológicas decorrentes dos impactos sob diferentes cenários relativos ao clima no futuro, tais como variações do nível do mar e aumento da frequência de eventos extremos. Desta forma, apesar dos oceanos desempenharem um papel fundamental no fornecimento de feedbacks climáticos, tal como regulação da temperatura da atmosfera, e na regulação de carbono. Os feedbacks dos estuários, com as taxas de acumulação de Carbono e nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) estão atraindo cada vez mais atenção (MATEAR *et al.*, 2010; STATHAM, 2012). Os ambientes aquáticos, terrestres e transicionais têm um grande potencial para retardar ou ampliar o aquecimento global (FINZI *et al.*, 2011; TRIMMER *et al.*, 2012) e representam um papel chave no ciclo do carbono global, embora os estoques e fluxos de carbono nestes são frequentemente pouco conhecidos (DIESING *et al.*, 2017; MATOS *et al.*, 2020; ROVAI *et al.*, 2018).

Sabe-se, entretanto, que ambientes costeiros como estuários, manguezais e prados são eficientes armadilhas para retenção e acumulação de carbono e matéria orgânica sedimentar (MOS), bem como de lama e nutrientes, ou seja, são sumidouros de material em suspensão oriundos do aporte fluvial e da inundação das marés (WOODROFFE, 1992). Sanders *et al.*, (2014) aponta que a quantificação da acumulação em subsuperfície da MOS em relação a outros vetores em um sistema manguezal durante um intervalo específico de tempo possibilita designar um sistema como sendo sumidouro ou fonte. Manguezais acumulam carbono em níveis proporcionalmente maiores que qualquer floresta terrestre (27-56x), sendo responsáveis por aproximadamente 15% do carbono acumulado em sistemas

marinhos (SANDERS *et al.*, 2014). Desta forma, o conhecimento do potencial de estoque de carbono e MOS em estuários, manguezais e prados é um importante indicador ambiental de caráter global, em relação ao balanço e disponibilidade destes nutrientes e materiais, em um contexto atual de mudanças climáticas e elevação do nível do mar.

A expansão descontrolada do desenvolvimento urbano-industrial em estuários tropicais pode causar distúrbios nos estoques de carbono, estimulando a acumulação de COT, por meio da produção primária (eutrofização) e subsequente liberação de CO₂, por decomposição da MOS. O sistema de sequestro de carbono provido pelos ecossistemas estuarinos não mitigará as emissões antrópicas de CO₂, se pelo menos este índice de sequestro de COT permanecer aumentando no decorrer do tempo. Esse fator é importante para regulamentação de como serão os esquemas de pagamentos e conversão em créditos de carbono, sendo estes dependentes dos próprios índices de sequestro de COT (SANDERS *et al.*, 2014). Portanto a sedimentação do COT é um processo-chave na transferência de CO₂ da atmosfera para o fundo de ambientes marinhos, onde pode ficar armazenado a longo prazo (décadas-séculos) atenuando os aumentos no CO₂ atmosférico associado às mudanças climáticas (PACHAURI & MEYER, 2014).

Existem, no entanto, diversos processos físicos (corrente e temperatura), biológicos da infauna, antrópicos (pesca de arrastão, mudanças potenciais nos usos-da-terra e políticas de gestão de bacias de drenagem) que alteram os aportes e afetam a incorporação do COT em sedimentos, controlando os estoques de carbono e regulando os índices de acumulação (DIESING *et al.*, 2017). Estes condicionantes fazem com que os sedimentos superficiais sejam mais suscetíveis a pulsos eventuais de erosão ou deposição, e uma grande fração do material orgânico da superfície será remineralizado (SANDERS *et al.*, 2014). Portanto, no mínimo, as taxas de acréscimo decadal são necessárias para determinar taxas de acumulação mais precisas a longo prazo.

Atualmente, a importância dos sedimentos costeiros para a acumulação de carbono vem sendo investigado por muitos autores. DIESING *et al.*, (2017) enfatiza que os sedimentos costeiros e seus papéis no estoque de carbono merecem maior atenção no futuro. Do ponto de vista climático, grande parte do acúmulo de COT em sedimentos eutróficos de mangue pode ser compensado pela decomposição orgânica e a subsequente liberação de gases de efeito estufa, como dióxido de

carbono e óxido nitroso (SANDERS *et al.*, 2014; GRUBER E GALLOWAY, 2008; MUNOZ-HINCAPIÉ *et al.*, 2002). O link entre a significância espacial dos níveis dos estoques de carbono e os fatores que interagem geograficamente para produzir este estoque, e a magnitude e direção das mudanças sob futuras condições e pressões serão peças-chave para a gestão futura dos estoques de carbono (DIESING *et al.*, 2017).

Em face da necessidade de se incrementar a gestão de ambientes estuarinos no futuro, o presente trabalho visa levantar informações sobre o carbono orgânico nos sedimentos estuarinos do litoral Pernambucano por meio de uma revisão dos dados existentes na literatura, do cálculo das taxas de acumulação de carbono presentes e contextualizar os estoques atuais de carbono e suas perspectivas futuras em face às instabilidades geradas nestes ambientes costeiros devido às mudanças climáticas.

São objetivos específicos da pesquisa: i) Criar um inventário de dados sobre os conteúdos de carbono orgânico em sedimentos estuarinos pernambucanos; ii) Determinar as taxas de sedimentação de carbono em sedimentos subsuperficiais e relacioná-las aos distintos tipos geomorfológicos estuarinos locais; iii) Determinar as taxas de acumulação e estoque de carbono em diferentes subambientes estuarinos, tais como: canais estuarinos, bancos de intermarés, prados de fanerógamas e manguezais.

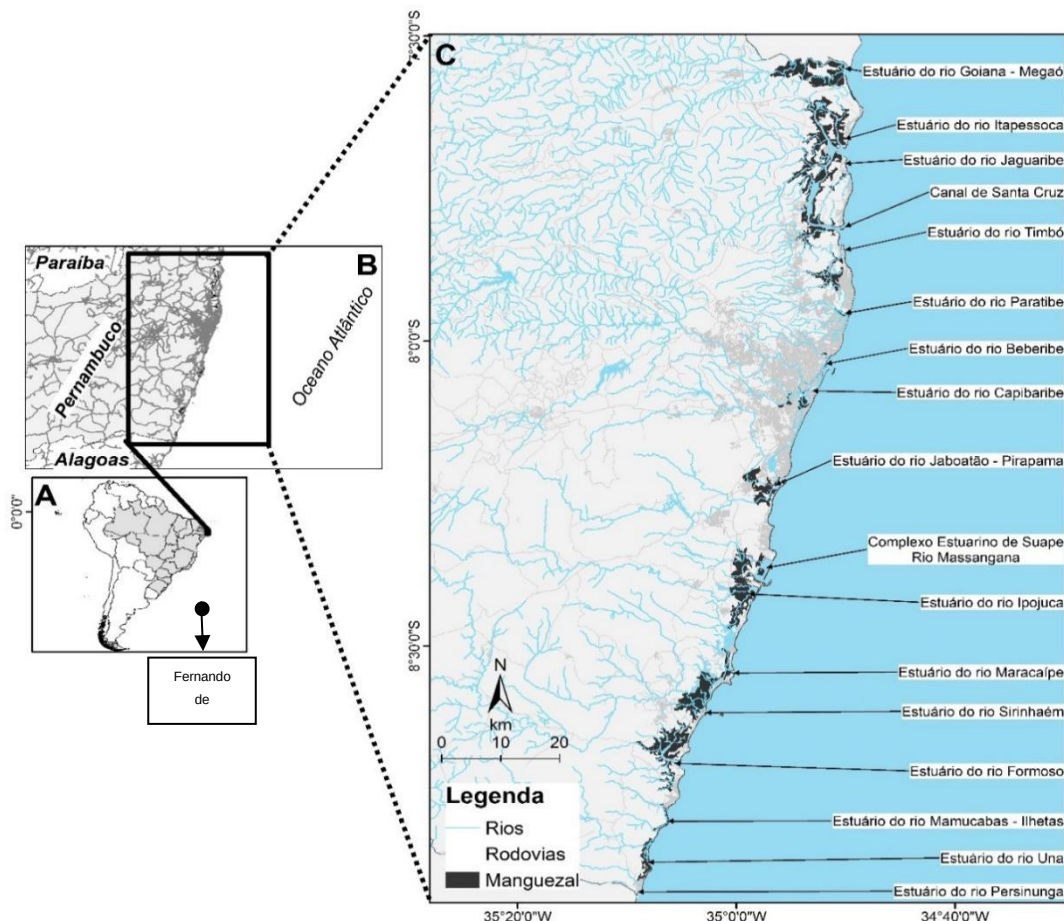
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A plataforma continental de Pernambuco se localiza na região Nordeste do Brasil e se estende por 155 km (7°32'S-8°55'S), tendo largura média de 35 km, relevo raso, plano e profundidade de quebra a cerca de 65 m (figura 1). Apresenta a predominância de sedimentos biogênicos cascalho-arenosos pobremente selecionados, com baixos a médios teores de MOS de origem marinha (BARCELLOS *et al.*, 2020). Essa morfologia estreita e de mar-aberto, e as características sedimentares atribuídas ao baixo aporte de água doce (SUMMERHAYES *et al.*, 1976), a credenciam como sendo considerada um dos sítios menos produtivos dos oceanos. De fato, Knoppers *et al.* (1999) aponta que a costa Nordeste do Brasil apresenta condições muito particulares em escala global

por se tratar de uma região tropical, sedimentar de margem passiva e com correntes de contorno oeste e prevalência de águas oligotróficas, salinas e quentes, no caso a Água Tropical (DOMINGUES *et al.*, 2017).

Figura 1: Localização dos estuários no litoral de Pernambuco



Fonte: Autor (2022)

Essas características são derivadas da herança geológica da plataforma e zona costeira, determinadas principalmente pelo baixo índice de erosão terrígena e aporte de sedimentos, devido à presença de poucos rios translitorâneos cujas nascentes encontram-se no semiárido (MANSO *et al.*, 2018). Este fator acarreta uma baixa taxa de sedimentação terrígena, sendo denominada de “costa faminta”, rica em sedimentação biogênica, por Dominguez *et al.* (1990).

Em linhas gerais a plataforma e zona costeira adjacente são geologicamente compostas pelas bacias sedimentares marginais de Pernambuco e da Paraíba, com sedimentos datados do Neógeno sendo limitadas por altos estruturais e lineamentos denominados de norte para sul de: Alto de Mamanguape (PB), Lineamento de

Pernambuco (Recife-PE) e Alto do Maragogi (PE-AL), respectivamente (LIMA-FILHO *et al.*, 2007; MANSO *et al.*, 2018). Quanto aos parâmetros oceanográficos, a maré é do tipo semidiurna, mista, com fator de forma (0,09) e amplitudes na preamar de 2,70 m e na baixa-mar de -0,20 m (MONTEIRO *et al.*, 2011; SCHETTINI *et al.*, 2016), sendo observadas correntes de plataforma variando de -0.1 a 0.3 m.s⁻¹ nas componentes paralelas e perpendiculares à costa, respectivamente (DOMINGUES *et al.*, 2017 ; SCHETTINI *et al.*, 2017). No estuário do rio Capibaribe a velocidade média de corrente de maré vazante é de 0,54 m.s⁻¹ e de enchente de 0,44 m.s⁻¹ (MONTEIRO *et al.*, 2011; SCHETTINI *et al.*, 2016).

O tipo de clima da região costeira é “As” de acordo com a Classificação de Köppen, tropical quente e úmido, com duas estações marcadas, a chuvosa de abril a setembro e a seca de outubro a março, com 27°C de temperatura média e 2050 mm.ano⁻¹ de pluviosidade (RAMOS *et al.*, 2009; MANSO *et al.*, 2018). Este índice de precipitação permite um aporte fluvial perene advindo de uma série de pequenos rios costeiros e rios translitorâneos que formam uma bacia de drenagem conjunta aproximada de 26.800 km², que deságua na zona costeira de Pernambuco (OLIVEIRA-FILHO, 2020). De fato, SCHETTINI *et al.* (2017) estimaram esse fluxo fluvial médio que seria de 120 m³.s⁻¹ de aporte de água doce associado à Água Costeira (AC) na área e mais restrito ao período úmido. O Rio Capibaribe por exemplo, com a maior bacia de drenagem do litoral (7.557 km²) e cerca de 240 km de extensão, apresenta vazão média anual de 19 m³.s⁻¹ (SCHETTINI *et al.*, 2016). O aporte fluvial oriundo destes é, entretanto, baixo como um todo por conta do clima semiárido no continente, onde as médias de precipitação são cerca de 1/3 da zona costeira (SCHETTINI *et al.*, 2016). Porém, apesar dos baixos aportes sedimentares terrígenos e pobres conteúdos orgânicos na plataforma continental, observam-se depósitos lamosos mais enriquecidos em MOS associados às adjacências das desembocaduras estuarinas de parte dos rios translitorâneos, tais como: Capibaribe, Sirinhaém e Una, e mais a offshore do estuário-lagunar de Suape-Ipojuca (BARCELLOS *et al.*, 2020).

O litoral pernambucano caracteriza-se pela presença de estuários como feição morfossedimentar marcante, são 16 desde o Rio Persinunga (PE-AL) ao Rio Goiana (PE-PB) (ARAÚJO *et al.*, 2014), de diferentes tipos (WOODROFFE, 2002; SILVA *et al.*, 2011) e distintos graus de preenchimento sedimentar (DALRYMPLE *et al.*, 1992; BOYD *et al.*, 1992). A origem destes sistemas estuarinos está relacionada ao

afofamento da linha de costa no auge da transgressão holocênica há 5.100 anos AP, onde o nível do mar atingiu a cota de 5 m acima da atual, e preferencialmente dos antigos vales fluviais, que evoluíram para os diferentes tipos de estuários atuais na regressão subsequente (DOMINGUEZ *et al.*, 1990). Estuários associados aos rios translitorâneos com maior vazão fluvial, tais como o Goiana, Capibaribe, Jaboatão-Pirapama, Ipojuca, Sirinhaém e Una, apresentam atualmente alto grau de preenchimento sedimentar em seus respectivos canais, bacias receptoras e planícies costeiras, sendo observados inclusive depósitos sedimentares lamosos terrígenos na plataforma continental adjacentes às suas desembocaduras (BARCELLOS *et al.*, 2020). Por outro lado, estuários como os do rio Formoso, rio Massangana (Baía de Suape), Canal de Santa Cruz (Ilha de Itamaracá) e rio Itapessoca, associados a pequenas bacias de drenagem costeiras e condicionados tectonicamente (SILVA *et al.*, 2011), apresentam canais amplos e relativamente profundos (> 8 m) (CONTI *et al.*, 2020), sistemas estuarinos de maior espelho d'água e pouco preenchidos.

2.2 REVISÃO DA LITERATURA

Uma revisão de literatura foi conduzida com o objetivo de ordenar os dados existentes sobre os percentuais médios de carbono orgânico e matéria orgânica total (MOT) em sedimentos dos estuários de Pernambuco, como base de dados atual para comparação, mensuração e estimativa do potencial de estoque de carbono nos sedimentos estuarinos locais. Foram listados estudos publicados em forma de monografias, dissertações, teses, artigos científicos e trabalhos apresentados em congressos científicos. Sempre que possível os conjuntos de amostras individuais ou dados de testemunhos foram utilizados e, quando necessários, os dados das médias aritméticas e ponderadas foram calculados de tabelas ou figuras (BREITHAUPT *et al.*, 2012). No caso os dados existentes serem de MOT, o valor foi multiplicado por 0,58 para estimativa dos conteúdos de COT (ALLEN, 1974). Os resultados foram apresentados em gráficos divididos por cada tipo estuarino associado a mapas de localização do estuário para contexto de orientação.

2.3 TESTEMUNHAGENS E CÁLCULOS DAS TAXAS DE ACUMULAÇÃO E ESTOQUE DE CARBONO

A partir da base de dados atuais, foram calculadas as taxas de estoque e acumulação de carbono em diferentes tipos fisiográficos de estuários e subambientes estuarinos, para a criação de uma segunda plataforma, com as taxas médias anuais de acumulação de carbono, seguindo os exemplos dos estudos de CHMURA *et al.* (2003) e BREITHAUPT *et al.* (2012). Esse segundo banco de dados irá possibilitar a comparação com áreas estuarinas morfologicamente correlatas na costa. O que poderia levar à utilização dos dados gerados como mais um parâmetro indicativo para índices de sensibilidade do litoral (ISL) (SILVA *et al.*, 2008; FINEP/UFPE, 2009; MALLMANN *et al.*, 2011), colaborando para o gerenciamento de ambientes estuarinos, gerando subsídios para a gestão urbana e criação de futuras áreas de proteção ambiental. Visto que estuários com altas taxas de acumulação em um contexto de elevação do nível do mar, e alteração dos espaços de acomodação nas bacias estuarinas, funcionarão como uma fonte potencial de liberação de carbono a partir da ressuspensão e redistribuição de sedimentos estuarinos estocados há séculos (IPCC, 2013; JOB *et al.*, 2018; JOB *et al.*, 2020). Dados inéditos oriundos de testemunhos coletados em pesquisa anteriores foram usados para o cálculo de acumulação de Carbono presentes nesse artigo (XAVIER *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2016; BARCELLOS *et al.*, 2017; MARTINS, 2017; BARCELLOS & SANTOS, 2018; BARCELLOS *et al.*, 2018).

Nessas pesquisas foram coletados oito testemunhos pelo método de *pushcore*, que consiste em amostragem da coluna sedimentar em tubos de PVC, com auxílio de equipamentos como braçadeiras e pesos, os quais facilitam o processo de penetração do tubo no depósito sedimentar e posterior recuperação. Três testemunhos (T1 a T3) foram coletados no estuário e desembocadura do Rio Capibaribe, três testemunhos (T4 a T6) foram recuperados no sistema estuarino do Rio Formoso e dois testemunhos (T7 e T8) coletados na franja e no mangue no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (Tabela 1).

Os testemunhos foram abertos longitudinalmente e subamostrados a cada 2 cm. A taxa de acumulação de carbono orgânico (COTa) na coluna sedimentar foi calculada nos testemunhos T1, T2 T3, T4, T5, T6, T7 e T8 baseada na taxa de

sedimentação (Tx), densidade aparente seca e teor médio de COT através da equação 1 (SANDERS et al., 2010):

$$\text{COTa} = \text{COT} * \text{Densidade} * \text{Tx} \quad (1)$$

sendo a taxa de sedimentação calculada seguindo Figueira et al. (1998) e Saito et al. (2001), usando decaimento de meia-vida de ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,3$ anos). A densidade aparente seca (determinada pela razão entre o valor da massa seca obtido e o volume do recipiente usado).

As frações elementares de carbono orgânico total (COT) foram preparadas de acordo com a técnica descrita por Hedges e Stern (1984) e processadas por um analisador elementar (Carlo Erba®, CHN-1110).

Para os testemunhos T1, T2 e T5, os conteúdos de COT foi estimado de acordo com Allen (1974), o qual multiplica a fração de MOT por 0,58. Os teores de MOT foram calculados de acordo com o método descrito por Carver (1971), que consiste no ataque químico com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2 a 10%) através da diferença de peso inicial e peso final e expressos em porcentagens. No caso dos estoques de carbono, estes foram calculados de acordo com o acumulado de cada subamostragem de cada testemunho (g.m^{-2}).

Tabela 1: Dados de localização e data de coleta dos testemunhos.

Testemunhos	Latitude	Longitude	Data	Prof. de recuperação (cm)	Prof. coluna d'água (m)	Subambientes Sedimentares
T1	S 08° 02' 22,56"	W 34° 55' 27,12"	nov/12	178	0,5	Franja de mangue
T2	S 08° 02' 54"	W 34° 51' 45"	jun/13	126	9	Flanco de canal
T3	S 08° 02' 76"	W 34° 51' 17"	jun/13	128	9,8	Flanco de canal
T4	S 08° 41' 07,3"	W 35° 05' 39,7"	set/14	168	0	Banco intermarés
T5	S 08°40' 54,6"	W 35°06' 31,9"	set/14	162	0	Banco intermarés
T6	S 08° 37' 49,3"	----	mar/15	132	1,5	Franja de mangue
T7	S 08° 21' 38,2"	W 34° 57' 46,66"	ago/15	82	0	Franja de mangue
T8	S 8°21' 20,16"	W 34°57'32,40"	nov/15	114	0	Mangue

Fonte: Autor (2022)

2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUÁRIOS PERNAMBUCANOS

Desta forma, no presente trabalho, os estuários pernambucanos foram classificados considerando-se os tipos relacionados por Silva *et al.* (2011) e, principalmente Woodroffe (2002), que os individualiza de acordo com a morfologia (FAIRBRIDGE, 1980; PERILLO, 1995; KENCH, 1999), processo dominante (onda, maré e rio) e estratigrafia (DALRYMPLE *et al.*, 1992; COOPER, 1993; e BOYD *et al.*, 1992). Sendo estes agrupados de acordo com a morfologia, processo dominante (onda, maré e rio) e estratigrafia. Assim, os resultados da compilação de dados aqui apresentada seguirão uma linha na tentativa de relacionar o tipo morfológico de estuário com os teores de carbono orgânico médios observados. E a mesma abordagem sendo válida para as taxas médias de acumulação de carbono bem como dos estoques.

3 RESULTADOS

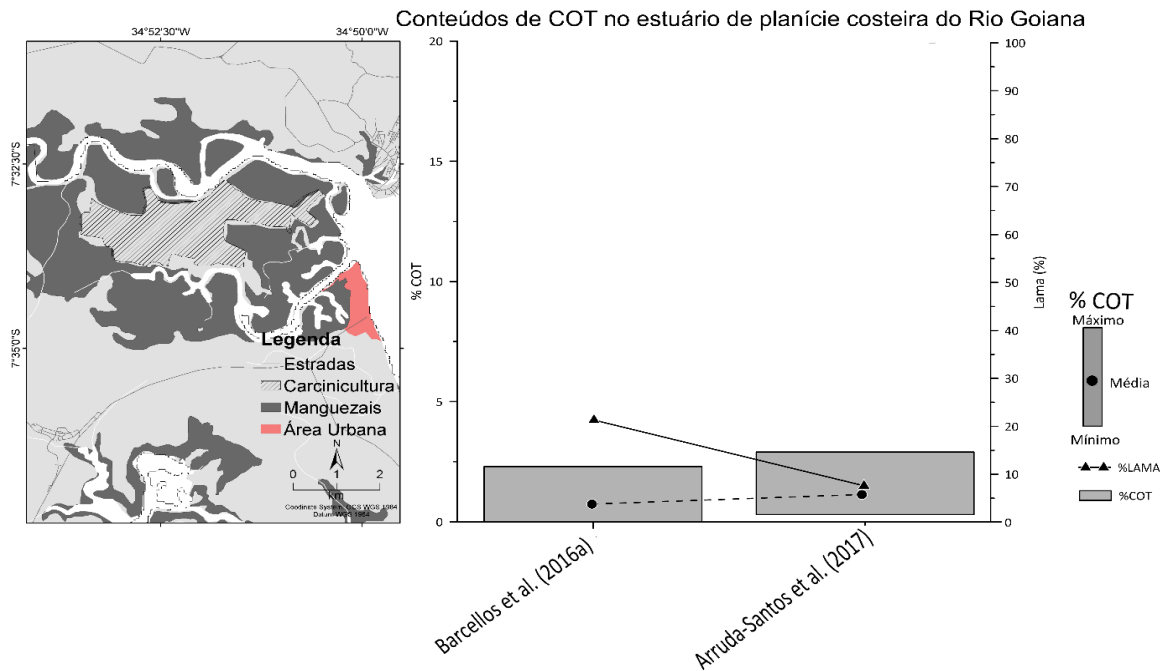
3.1 REVISÃO DA LITERATURA: CARBONO ORGÂNICO EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS E SUBSUPERFICIAIS

Ao todo, 36 estudos foram encontrados na literatura com dados relativos a percentuais de COT em sedimentos de superfície e subsuperfície. Observa-se que grande parte das pesquisas primárias do gênero foram desenvolvidos principalmente nos últimos 10 anos na área. E fica também constatado que não existem estudos sobre o tema em cerca de 50% dos estuários locais, tais como: Jaguaribe (Ilha de Itamaracá), Canal de Santa Cruz, Timbó, Paratibe-Rio Doce, Maracaípe, Sirinhaém, Mamucabas, Una e Persinunga.

O estuário do rio Goiana localizado na divisa com a Paraíba é do tipo *de planície costeira*, dominado por marés-rio, e está associado a um rio translitorâneo com bacia de drenagem de 2.878 km². Na figura 2 são apresentados os dados dos estudos de Barcellos, *et al.* (2016a) e Arruda-Santos *et al.* (2018) que encontraram baixos teores médios de COT, 0,7% e 1,1% respectivamente, em sedimentos superficiais predominantemente litoclásticos areno-sílticos (LARSSONEUR *et al.*, 1982; FOLK, 1954) e com teores médios de lama de 16,6%. Outro estuário com

características similares é o do rio Sirinhaém, no litoral sul, porém inexistem estudos de COT nos sedimentos locais.

Figura 2: Conteúdos de COT no estuário de planície costeira do Rio Goiana

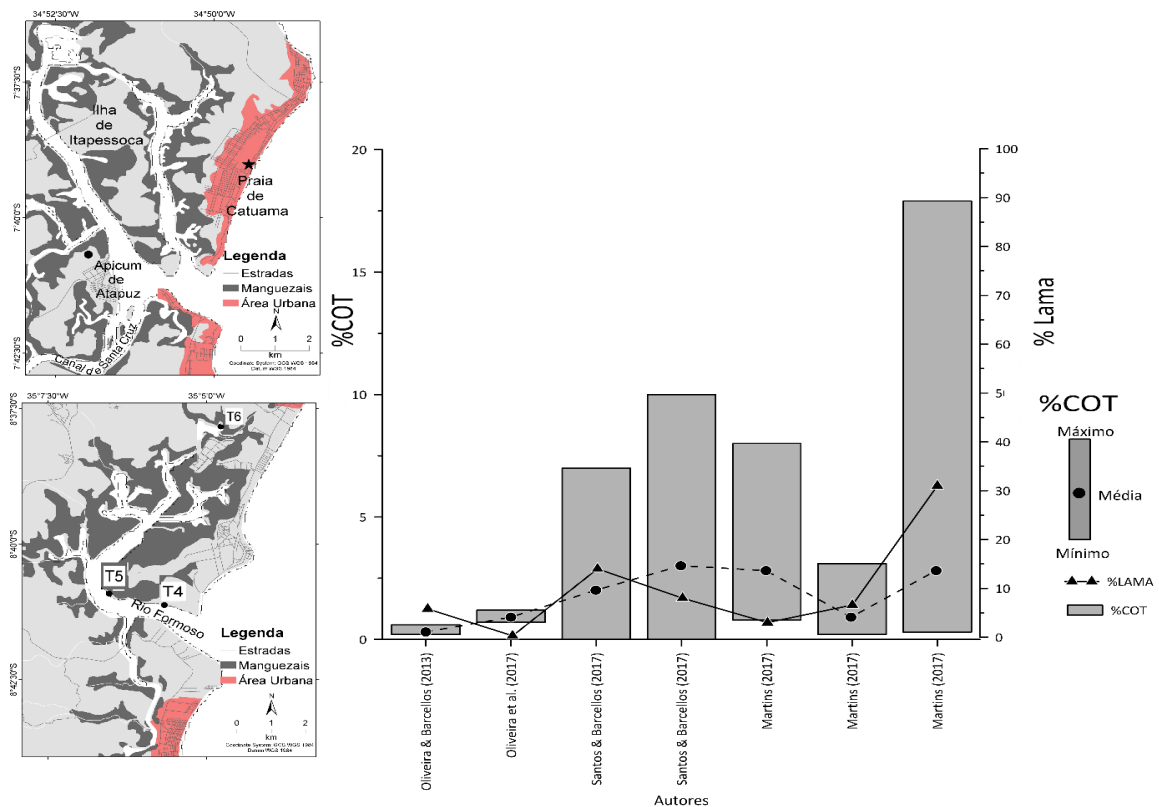


Fonte: Autor (2022)

Exemplos de estuários *tectônicos*, dominados por processos de marés e associados a rios costeiros, estão localizados no litoral norte como o estuário do Itapessoca e o canal de Santa Cruz; e no litoral sul, o rio Formoso. Desses sítios, somente o Formoso (MARTINS, 2017; SANTOS & BARCELLOS, 2017) e em pontos do estuário de Itapessoca, como na barra de Catuama (OLIVEIRA *et al.*, 2017) e no apicum de Acaú (OLIVEIRA E BARCELLOS, 2014), existem estudos sobre o carbono em sedimentos superficiais e subsuperficiais (Figura 3). Os dados indicam a média de 0,9% de COT para os sedimentos biolitoclásticos arenosos da barra de Catuama, desembocadura do estuário do Itapessoca. Conteúdos muito baixos de COT (0,3% em média) foram também observados para o apicum do Acaú, no baixo estuário do Itapessoca, em sedimentos essencialmente arenosos litoclásticos. Santos e Barcellos (2017) em um estudo sazonal da sedimentação do rio Formoso encontraram médias comparativamente mais altas de COT de 2% e 3%, para os períodos chuvoso de 2014 (inverno) e seco de 2015 (verão), respectivamente em sedimentos areno-sílticos e síltico-arenosos litoclásticos. Em sedimentos

subsuperficiais com as mesmas características texturais, Martins (2017) realizou um estudo com três testemunhos localizados no médio (T3 e T4) e alto estuários (T5) do rio Formoso. Para o T3, a média de COT (2,8%) foi similar aos sedimentos superficiais. E nos casos do T4 e T5 foram calculados valores médios de 0,9% e 2,8%, respectivamente.

Figura 3: Conteúdos de COT nos estuários tectônicos do Itapessoca, canal de Santa Cruz e Rio Formoso.

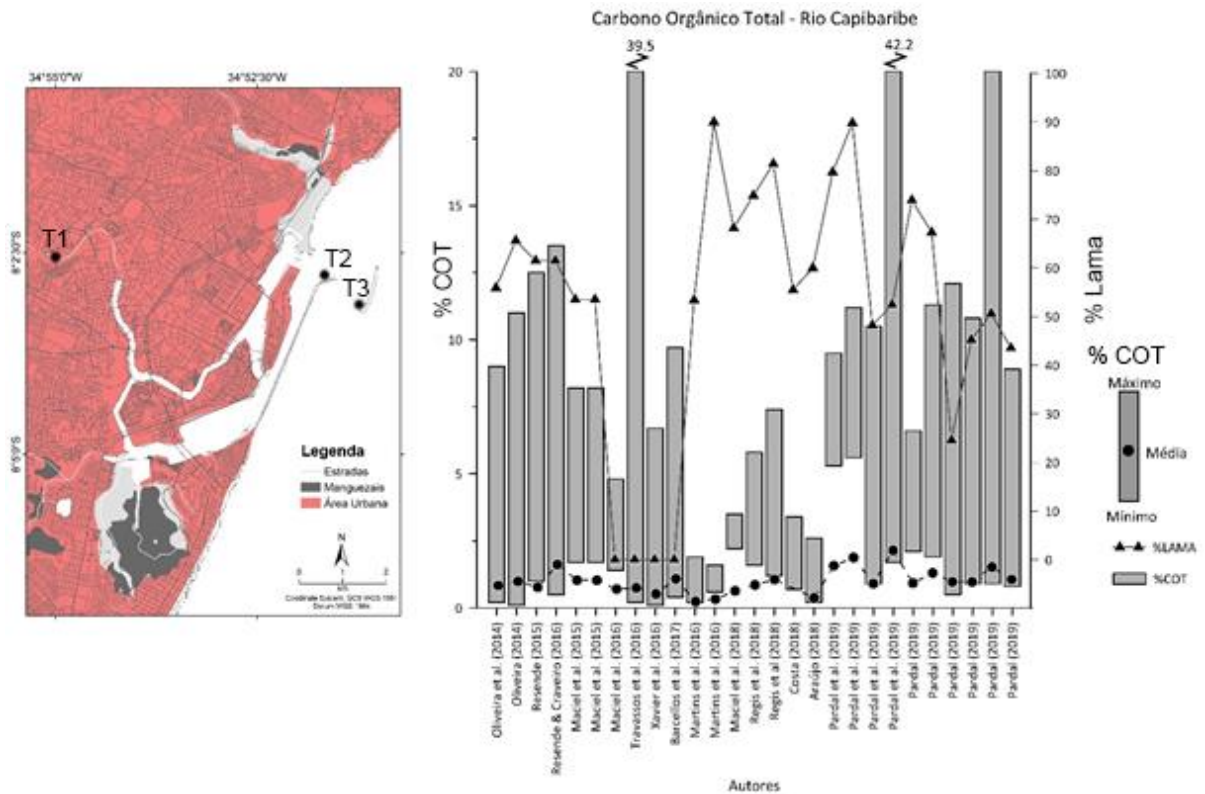


Fonte: Autor (2022)

Os sistemas estuarinos-lagunares estão representados no litoral pernambucano, em sua porção central e centro-sul, pelos estuários do Capibaribe e de Suape-Ipojuca. O primeiro está localizado no centro da Região Metropolitana do Recife (RMR), com 3,9 milhões de habitantes (OLIVEIRA *et al.*, 2014) e o segundo divide suas águas com o Complexo-Industrial Portuário de Suape (BARCELLOS & SANTOS, 2018), portanto sendo sistemas sob forte pressão antrópica urbano-industrial. São os sistemas estuarinos mais estudados do estado, embora a maioria das pesquisas sobre a sedimentologia e geoquímica da MOS nestes também tenham se desenvolvido especialmente na última década. A figura 4 ilustra os 27

estudos sobre COT e MOT (tabela 5, anexo) existentes no estuário do rio Capibaribe.

Figura 4: Conteúdos de COT nos estuários lagunares da cidade do Recife (PE).



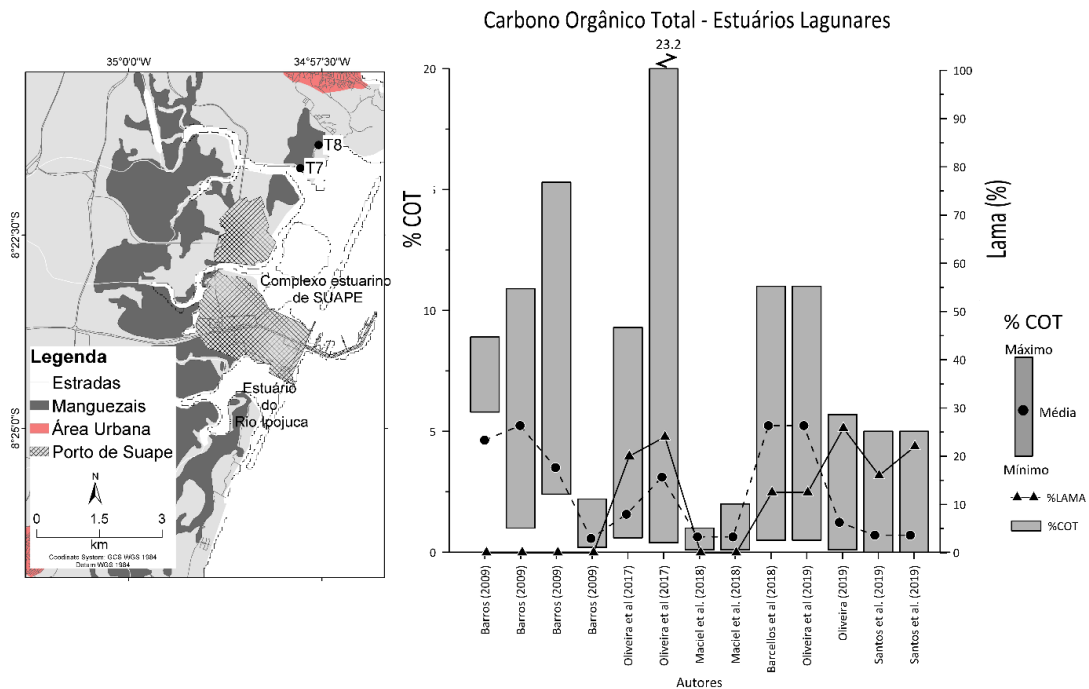
Fonte: Autor (2022)

Dos 27 conjuntos de resultados de estudos efetuados no complexo estuarino-lagunar do rio Capibaribe, que engloba também os rios Beberibe, Tejipió, Jiquiá, Pina e Bacia do Pina, 20 foram executados em sedimentos superficiais e tratam da distribuição espaço-temporal da MOS na área. Nestes foram observados as médias de 3,6% de COT e 8% de MOT, em sedimentos siltico-arenosos a arenosos, predominantemente litoclásticos. De acordo Oliveira *et al.* (2014) e Travassos *et al.* (2016), a matéria orgânica local é de origem terrígena (natural e antrópica), grande parte sendo produtos de pirólise de combustíveis fósseis e de esgotos domésticos (MACIEL *et al.*, 2015; PARDAL *et al.*, 2019). Em 4 testemunhos coletados no médio estuário (T2, BARCELLOS *et al.*, 2017), Bacia do Pina (T1, XAVIER *et al.*, 2016) e na desembocadura do sistema (T3 e T4) (MARTINS *et al.*, 2016) foram observados teores de COT com médias entre 0,9-4,7% e MOT com médias entre 3,8-8,1%. Essas colunas sedimentares recuperadas apresentaram certa heterogeneidade

textural, que variaram de siltes a areias litoclásticas, e cascalhos biogênicos na base dos testemunhos da desembocadura, típicos das fácies predominantes da plataforma continental de PE (BARCELLOS *et al.*, 2020). Observa-se que, no geral, os teores orgânicos para o estuário-lagunar do Capibaribe são significativamente mais altos que os dos demais sistemas estuarinos, o que pode estar relacionado ao alto influxo de efluentes urbano-industriais despejados diariamente nas águas estuarinas sem tratamento prévio, conforme indicado por diversos destes estudos elencados.

No caso do sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca, 14 estudos sobre o tema foram publicados com resultados para o COT (Figura 5) e MOT (Tabela 6, anexo), indicativos de um aporte significativamente menor que o Capibaribe, apresentando à exceção do canal dragado do porto interno de Suape, baixos conteúdos de COT, em média 2,7%, em sedimentos essencialmente arenosos litoclásticos. Oliveira (2019) realizou um trabalho com um testemunho (T7) e encontrou valores de COT, com média de 1,8% e Passos *et al.* (2011) com média de 1,6%. Já Barros (2009) encontrou teores de COT mais elevados em três testemunhos com médias de 6,9%, 7,8% e 5,2%. No único trabalho na porção sul do sistema, no estuário do Ipojuca-Merepe, Santos *et al.* (2019), realizaram um estudo sazonal em sedimentos superficiais e encontraram baixos valores de COT, com média de 1%, para ambos os períodos analisados em sedimentos, em geral, arenosos litoclásticos e MOS de origem terrígena.

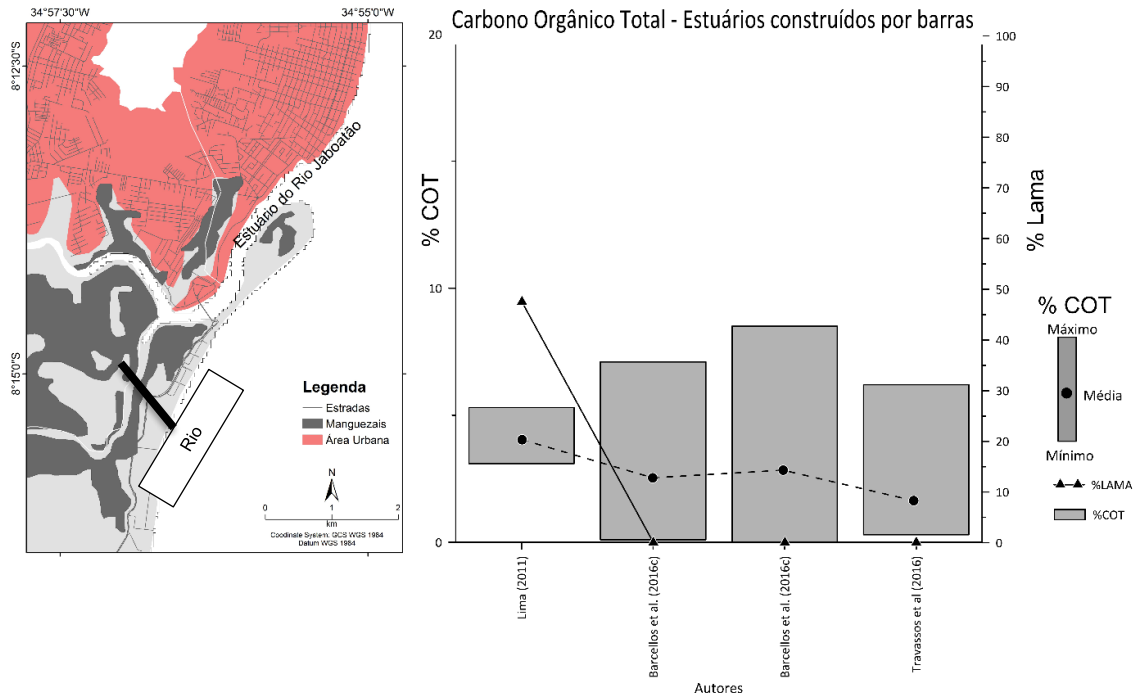
Figura 5: Conteúdos de COT nos estuários lagunares do litoral sul de Pernambuco.



Fonte: Autor (2022)

Outro importante sistema estuarino da Região Metropolitana do Recife é o associado aos rios Jaboatão e Pirapama que exibem características bem distintas. O primeiro é um rio litorâneo com pequena bacia de drenagem (413 km²) e o rio Pirapama apresenta maior porte, com 1009 km² de bacia de drenagem. Esses se encontram no baixo estuário próximo à foz e drenam efluentes urbano-industriais de uma população de 500.000 habitantes (BARCELLOS *et al.*, 2016c). É do tipo *estuário construído por barras* (Figura 6), dominados por ondas, sendo o único representante com estudos espaço-temporais sobre MOS desta classe (COT: de 2,9%). Os estuários do rio Una no litoral sul e Timbó (RMR) são os outros representantes, porém sem estudos do gênero até o presente.

Figura 6: Conteúdos de COT em estuários construídos por barras

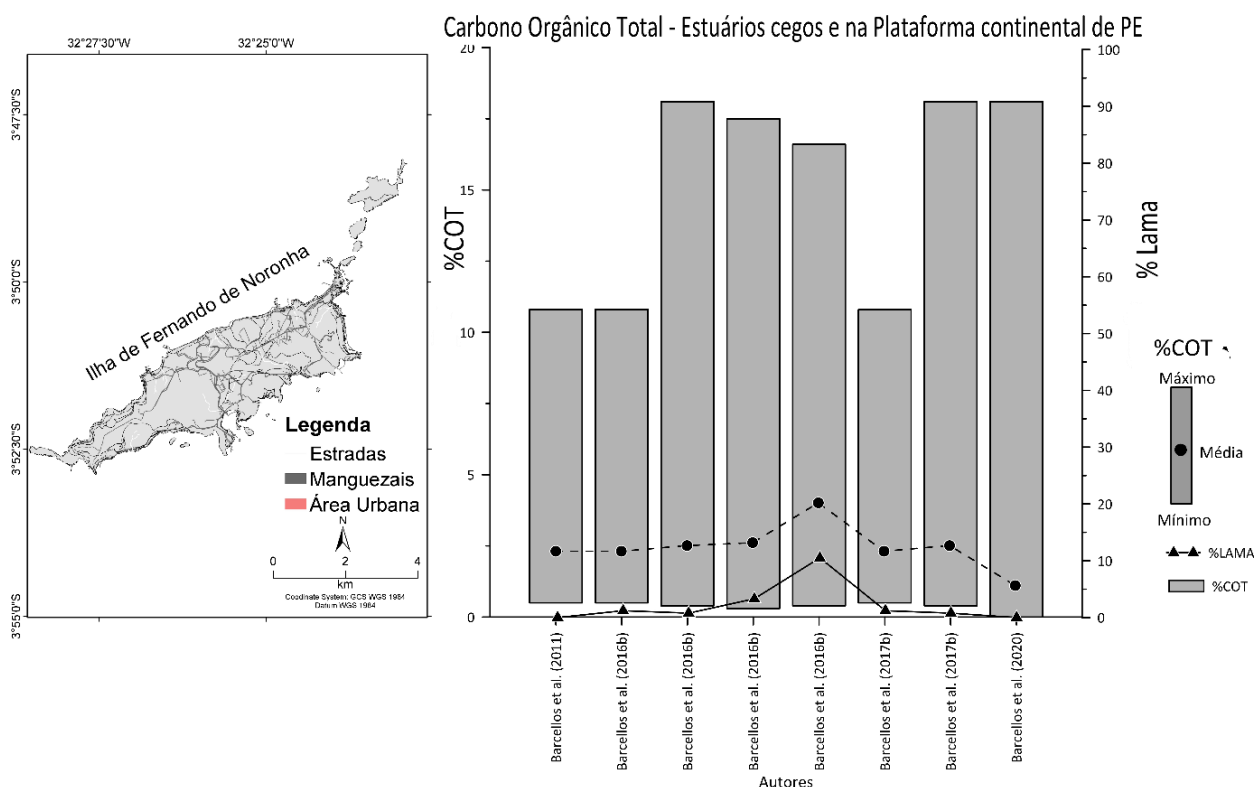


Fonte: Autor (2022)

Existem estudos sobre a MOS em uma baía costeira abrigada no Arquipélago de Fernando de Noronha. A Baía do Sueste apresenta sedimentação biogênica arenosa, com baixos teores orgânicos de origem marinha, exceto para o pequeno manguezal e laguna local com sedimentos lamosos litoclásticos vulcânicos com teores orgânicos mais altos (BARCELLOS *et al.*, 2016b). As características singulares locais são de um *estuário cego* (Figura 7 e tabela 8, anexo) e apresenta sedimentos com teores de COT e MOT médios de até 4,0% e 2,7% respectivamente.

A título de comparação a fácies sedimentar e geoquímica típica da plataforma continental de Pernambuco apresenta baixos teores orgânicos de origem marinha (COT: 1,1% e MOT: 2,7%), em sedimentos biogênicos cascalho-arenosos (BARCELLOS *et al.*, 2020).

Figura 1: Conteúdos de COT em estuários cegos e na Plataforma continental de PE (Fig 1).



Fonte: Autor (2022)

Pequenos *estuários de planície*, associados a bacias de drenagens costeiras e que desaguam diretamente em praias, são feições morfológicas comuns no litoral pernambucano. São representados pelos estuários do Jaguaribe (Ilha de Itamaracá), Rio Doce-Paratibe (Olinda), Maracaípe e Mamucabas, no litoral sul e Persinunga na divisa PE-AL, nos quais ainda inexistem estudos sobre a MOS.

3.2 TAXAS DE ACUMULAÇÃO, FLUXOS E ESTOQUES DE CARBONO EM ESTUÁRIOS DE PE

As taxas de acumulação e fluxos de carbono foram calculadas em três estuários de Pernambuco (Tabela 2). No estuário do Rio Capibaribe os fluxos variaram de 29,54 – 301,57 $\text{gm}^2\text{ano}^{-1}$, no estuário do Rio Formoso 14,24 – 157,92 $\text{gm}^2\text{ano}^{-1}$ e no estuário de Suape-Massangana de 119,34 – 222,04 $\text{gm}^2\text{ano}^{-1}$. A taxa de sedimentação variou de 0,1 – 1,58 mm.ano^{-1} e as médias de percentual de COT de 0,9 – 4,7%. Os estoques calculados de carbono variaram de 6.756 a 109.470 gm^{-2} .

Tabela 2: Taxa de sedimentação, percentual de carbono orgânico (COT), taxas de acumulação (COTa) (fluxos) e estoque de carbono em 8 testemunhos localizados no litoral de PE.

Sítio	Latitude	Longitude	ID Core	Presença Fluvial	Tx de sedimentação (cm ano ⁻¹)	COT (%)	COTa (gm ² ano ⁻¹)	Estoque de carbono (gm ⁻²)	Método Carbono	Método de datação
Estuário do Rio Capibaribe	S 08° 02' 22,56"	W 34° 55' 27,12"	T1	Capibaribe e rios litorâneos	0,52	4,70	301,57	109.470	MOT	²¹⁰ Pb
Estuário do Rio Capibaribe	S 08° 02' 54"	W 34° 51' 45"	T2	Capibaribe e rios costeiros	1,58	0,90	142,04	11.113	COT	²¹⁰ Pb
Estuário do Rio Capibaribe	S 08° 02' 76"	W 34° 51' 17"	T3	Capibaribe e rios costeiros	0,33	1,34	29,54	8.832	COT	²¹⁰ Pb
Estuário do Rio Formoso	S 08° 41' 07,3"	W 35° 05' 39,7"	T4	Rios Costeiros	0,42	2,8	157,92	68.544	MOT	²¹⁰ Pb
Estuário do Rio Formoso	S 08°40' 54,6"	W 35°06' 31,9"	T5	Rios Costeiros	0,17	0,9	14,24	16.686	COT	²¹⁰ Pb
Estuário do Rio Formoso	S 08° 37' 49,3"	W 35° 04' 46,2"	T6	Rios Costeiros	0,10	5,4	23,22	48.840	COT	²¹⁰ Pb
Estuário de Suape (Massangana)	S 08° 21' 38,2"	W 34° 57' 46,66"	T7	Ipojuca e rios costeiros	1,37	1,80	222,04	6.756	COT	²¹⁰ Pb
Estuário de Suape (Rio Massangana)	S 8°21'20.16"	W 34°57' 32.40"	T8	Ipojuca e rios litorâneos	0,73	1,63	119,34	27.588	COT	²¹⁰ Pb

Fonte: Autor (2022)

4 DISCUSSÃO

4.1 COMPORTAMENTO DO CARBONO ORGÂNICO EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DOS ESTUÁRIOS DE PERNAMBUCO

O conteúdo de carbono nos sedimentos superficiais depende de uma série de fatores, tais como as características sedimentares, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais. De acordo com Rashid (1985), um baixo conteúdo de carbono orgânico ($< 0,5\%$) é característico de grande maioria das bacias oceânicas, particularmente as de mares abertos. Os sedimentos próximos à linha de costa, de mares interiores e das plataformas continentais são geralmente enriquecidos de carbono orgânico. Conteúdos de 2 a 4% não são incomuns nessas áreas e são considerados como teores médios (ROMANKEVICH, 2013).

A Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 454/12 estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Segundo esta resolução, valores de carbono orgânico sedimentar acima de 10% podem causar danos ao meio em que é lançado, deixando o ambiente com menos oxigênio disponível e potencialmente nocivo, devido à afinidade do carbono orgânico com compostos químicos tóxicos. De acordo com os resultados apresentados, os estuários pernambucanos apresentam conteúdos abaixo do valor de alerta delimitados pela resolução do CONAMA nº 454/12, com exceção do estuário do rio Capibaribe em 2013 e 2010/2011 com teores máximos de 12,5% e 39,5%, respectivamente. Observa-se que o estuário que apresenta os menores valores máximos para o COT é o Itapessoca próximo ao apicum de Atapuz (0,6%) localizado no litoral norte pernambucano. Seguido do estuário de Suape com teores máximos de 2% em 2012 no período seco e o estuário do rio Goiana (2,3%) em 2012.

O estuário do rio Formoso apesar de estar localizado dentro de uma área de proteção ambiental (APA de Guadalupe) apresentou valores razoavelmente elevados comparado aos outros estuários. De acordo com Santos & Barcellos (2017), apesar dos valores encontrados para o COT no estuário do rio Formoso serem abaixo do valor de alerta (10%), com exceção de uma amostra localizada no alto estuário adjacente a um efluente de tanques de carcinicultura (10%), as

estações com os maiores teores de COT estão associadas às amostras com os maiores valores de MOT, percentual de lama e também adjacentes aos tanques de carcinicultura na região do estuário superior e no período seco do ano. Também foi constatado por Santos & Barcellos (2017) que o estuário do rio Formoso apresentou valores de MOT superiores a conteúdos de estuários da região metropolitana do Recife, altamente antropizados na maioria dos estudos realizados. Com exceção do estudo realizado por Pardal *et al.* (2019) que encontrou teores máximos de MOT de 72,8% no período seco também em 2011. Possivelmente, indicando que apesar de pertencer uma área de proteção ambiental, este estuário está sujeito às influências dos impactos ambientais de origem antrópica das áreas circundantes. Martins (2017) encontrou também no estuário do Formoso níveis sedimentares ricos em MOT nos sedimentos de testemunho, relacionados às camadas de depósitos de turfas, com níveis de MOT entre 75 e 80% (em 100 e 50 cm de profundidade) no testemunho localizado no médio estuário (T5) e valores semelhantes também encontrados no testemunho localizado no alto estuário do rio Formoso (T6). Neste, apesar de ter observado elevados níveis de MOT (80%) foram encontrados conteúdos de COT que variaram de 0,34% (30 a 32 cm) a 17,88% (90 a 92 cm).

O estuário do rio Jaboatão-Pirapama apresentou valores próximos do limite de alerta (10%) (BARCELLOS *et al.*, 2016c). A cidade de Jaboatão dos Guararapes está localizada na região metropolitana de Recife e possui a segunda maior população do estado de Pernambuco (702.298 habitantes) (IBGE, 2019). De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, mais de cem indústrias estão instaladas em torno da sua bacia hidrográfica (CPRH, 2011). Logo, o estuário do rio Jaboatão é um grande receptor de poluentes oriundos da própria bacia.

O estuário do rio Capibaribe, apresentou valores acima do limite de alerta (10%) em estudos realizados por Oliveira (2014), Resende (2015) e Travassos *et al.* (2016), respectivamente. De acordo com Pardal *et al.* (2019), este estuário vem historicamente sendo modificado, sofrendo as mais diversas interferências ambientais antropogênicas, desde o início do processo de colonização e atualmente encontra-se sob forte pressão por meio da elevada quantidade de efluentes domésticos e industriais lançados em seus corpos d'água (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Além disso, vem passando por processos de erosão das áreas marginais causadas pela ocupação desordenada da cidade, obras de dragagem na calha fluvial e área portuária, e pela grande quantidade de resíduos sólidos presentes no sistema

estuarino. De acordo com Resende (2015) e Pardal *et al.* (2019), os valores de carbono orgânico mais elevados estavam associados às amostras localizadas no porto do Recife. Diversos estudos realizados nas duas últimas décadas (ex.: KOENING *et al.*, 1995; FEITOSA *et al.*, 1999; NASCIMENTO *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2009; FLORES MONTE *et al.*, 2011; PAULO *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2014; GÜENTER *et al.*, 2015; PARDAL *et al.*, 2019) reportam que o estuário do rio Capibaribe é caracterizado como um sistema hipereutrófico.

No caso do sistema estuarino-lagunar de Suape e Complexo Industrial-Portuário associado (BARCELLOS & SANTOS, 2018), apesar de terem sido encontrados altos valores de MOT se comparados aos outros estuários pernambucanos, como por exemplo 40% de MOT no período chuvoso em 2016, pode-se dizer que os níveis de COT não se apresentaram elevados e estão abaixo do valor de alerta da resolução do CONAMA na média geral. Assim como um todo, o sistema estuarino-lagunar de Suape apresenta valores medianos de COT de acordo com Romankevich (2013), no qual estipula que conteúdos de 2 a 4% são considerados como teores médios de COT. E ao observar as máximas de COT, percebe-se que o estuário apresenta algumas particularidades (teores elevados de COT em subambientes relacionados à influência antrópica) como observado em alguns estudos efetuados na área que indicaram impactos ambientais relacionados a hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de petróleo (HPA's) em sedimentos e coluna d'água (LE MOS *et al.*, 2014; ZANARDI-LAMARDO *et al.*, 2018) e enriquecimento de metais em condições redutoras nos sedimentos lamosos do canal do porto interno (OLIVEIRA *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O conjunto de dados compilados e trabalhados permitiu uma comparação das médias de carbono locais, relacionada a cada tipo estuarino (vide tabelas 3 a 8), com as médias globais estabelecidas por Romankevich (2013). Desta forma, pode-se observar que o estuário-lagunar do Capibaribe apresenta altos teores de COT (4,4%), seguido do estuário-lagunar de Suape (3,0%), estuário do Jaboatão-Pirapama (2,9%) e do rio Formoso (2,1%) com teores medianos. Conteúdos baixos de COT foram observados nos estuários de planície (Goiana) e tectônicos do litoral norte (Itapessoca e Catuama) (< 0,9%), bem como em Fernando de Noronha (1,9%) e plataforma continental de Pernambuco (1,1%). Porém são, em geral, teores medianos e compatíveis com outros sistemas estuarinos brasileiros subtropicais

(BARCELLOS *et al.*, 2005), tropicais (BARCELLOS *et al.*, 2014) e equatoriais (MATOS *et al.*, 2020).

De acordo com essa coletânea de resultados e assim como observado por Diesing *et al.* (2017), condicionantes locais como uma maior presença de teores de finos, bem como a influência do aporte antropogênico parecem ser mais determinantes para ocorrência de maiores teores e, conseqüentemente, estoques e acúmulo de COT nos sedimentos, do que as forçantes mais globais como a herança geológico-geomorfológica (tipos e subambientes estuarinos) e o clima (sazonalidade e hidrologia).

As forçantes locais como o subambiente estuarino (mangue, franja, banco intermarés ou flanco/canal/baixio estuarino), por diferenciarem-se dinamicamente e imprimirem uma sedimentação característica mais fina ou não, parecem ser secundariamente importantes. Este fator é observado no caso dos testemunhos, visto que os localizados em flancos de canal e bancos de intermarés, em geral submetidos a uma maior energia hidrodinâmica e compostos de sedimentos mais arenosos tendem a reter menos carbono que nas franjas ou manguezais, tal qual observado por Sanders *et al.* (2014) e Rovai *et al.* (2018).

4.2 TAXAS DE ACUMULAÇÃO E CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTOQUES DE CARBONO EM ESTUÁRIOS DE PE

A maior média de acumulação de COT (COTa) (fluxos) encontrada neste estudo foi no estuário do Rio Capibaribe (T1; 301,57 $\text{gm}^2\text{ano}^{-1}$). No entanto os fluxos de COTa variaram de duas a dez vezes neste mesmo estuário e variações de seis a dez vezes foram observadas no estuário o Rio Formoso. Bernardino *et al.* (2020) também identificaram variações nestas escalas em cada estuário observado no litoral do Espírito Santo (ES), afirmando que o uso da terra afeta a dinâmica do COT nos estuários brasileiros. Embora as mudanças no uso da terra tenham sido reconhecidas anteriormente por outros autores (MCLEOD *et al.* 2011), impactos causados pela supressão de manguezais podem ser considerados.

Os fluxos médios de COTa para os estuários dos rios Cocaia (T8) e Massangana (T7) (estuário de Suape), variaram em uma escala bem menor (119,34 – 222,04 $\text{gm}^2\text{ano}^{-1}$). Este intervalo de dados, porém, indica ser compatível com manguezais de Cananéia (SP) em estudo recente de Rovai *et al.* (2018) (283

$\text{gm}^2\text{ano}^{-1}$) e ao estimado para regiões com aporte fluvial presente (e.g. $268 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$ em BREITHAUPT *et al.*, 2012). Os fluxos no acúmulo de carbono podem ser em média tão baixos e similares ao T8 ($119,34 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), em sistemas costeiros onde os rios estão ausentes.

As médias de acumulação de COT (COTa) calculada nos diferentes estuários do litoral pernambucano foram menores do que os fluxos encontrados por Breithaupt *et al.* (2012) para o estuário do Rio Formoso ($353 - 1129 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), nos Rios São João e Cubatão em Guaratuba(PR) ($337 - 842 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), por Bernadino *et al.*, (2012) no estuário do Piraquê-Açu (ES) ($555 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), e por Breithaupt *et al.*, (2012) no Rio Herbert no canal de Hinchinbrook na Austrália ($336 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), no Rio Numerous na reserva da Matang na Malásia ($310 - 410 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), no estuário do Rio Jiulongjiang na China ($667 - 1020 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$) e no Rio Ajkawa, no Irian Jaya na Indonésia ($412 - 717 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$).

No entanto, as médias de COTa para os testemunhos T1 e T7 foram maiores do que as médias dos fluxos identificadas por Breithaupt *et al.*, (2012) para Cananéia (SP) ($192 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), estuário de Paranaguá (PR) ($168 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$) e Paraty (RJ) ($169 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$). São também maiores do que a média global atual para ecossistemas de mangue ($179,6 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$, Alongi, 2020) e para as médias identificadas por Breithaupt *et al.*, (2012) no DaLoc, ThanHoa, Vietnam ($120 - 180 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), no Trat, Thailand ($100 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$) e na Baía Sawi na Thailand $184 - 281 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$). Acredita-se que o fato dos testemunhos (T1 e T7) se localizarem em uma franja de mangue, imprimirem uma sedimentação mais fina e estarem submetidos a uma menor energia hidrodinâmica tendem a reter mais carbono do que os localizados nos flancos de canal e banco intermarés, tal qual observado por Sanders *et al.* (2014) e Rovai *et al.* (2018).

As maiores médias de estoque de carbono encontradas neste estudo estão localizadas no estuário do Rio Capibaribe e Rio Formoso (T1: 109.470 gm^2 e T4: 68.544 gm^2 , respectivamente). Assim como as taxas de COTa, os estoques mostraram diferenças entre os locais analisados (tabela 2). Por exemplo no estuário do Rio Capibaribe em que os estoques variaram de 11.113 a 109.470 gm^2 . Dois fatores podem causar essas diferenças. Em primeiro lugar, o T1 apresenta alta densidade ($1,23\text{g/cm}^3$) e maior COTa ($301,57 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$). Já o T2, apesar de não apresentar uma alta taxa nos fluxos de COTa ($142,04 \text{ gm}^2\text{ano}^{-1}$), apresenta a maior taxa de sedimentação ($1,58 \text{ cm.ano}^{-1}$) e a maior densidade média ($131,7\text{g/cm}^3$)

entre os testemunhos analisados. Desta forma, assim como para o COTa as forçantes locais, como o subambiente estuarino (mangue, franja, banco intermarés ou flanco/canal/baixio estuarino), por diferenciarem-se dinamicamente e imprimirem uma sedimentação característica diferentes entre si, parecem ser importantes para a ocorrência de maiores ou menores estoques.

Os estoques de carbono encontrados neste estudo foram bem maiores que as médias encontradas por Matos *et al.* (2020) que investigou os estoques de carbono em planícies de lama entre marés situadas ao longo de riachos de mangue na costa amazônica brasileira. Matos *et al.* (2020) identificou estoques de 2.337-5.218 gm^2 enquanto neste estudo os valores variaram de 6.756 a 109.470 gm^2 . Acredita-se que dois fatores podem justificar esta discrepância: o primeiro relacionado à recuperação dos testemunhos. Enquanto Matos *et al.* (2020) analisaram testemunhos de 35 cm, neste estudo foi analisado testemunhos com até 178 cm. Além disso, as maiores densidades dos sedimentos, visto que os maiores estoques de carbono neste estudo estão associados com as maiores médias de densidades dos sedimentos (T1, 1,23 gcm^{-3} e T4, 1,36 gcm^{-3}).

Esses resultados indicam que os valores de acumulação e de estoque de COT nos estuários pernambucanos são compatíveis com outros ambientes estuarinos tropicais do globo. Diferentemente dos conteúdos de COT superficial e subsuperficial, os valores de estoque de COT em PE são inferiores aos globais, mesmo em estuários altamente antropizados urbano-industriais da RMR (Capibaribe e Suape). Isso pode estar associado principalmente ao limitado aporte hidrológico e consequentemente sedimentar derivado de drenagens de baixa vazão fluvial ($19\text{m}^3\text{s}^{-1}$) (SCHETTINI *et al.*, 2016), associadas ao interior semiárido, imprimindo as condições de “costa faminta” por sedimentos terrígenos, conforme apontado por Dominguez *et al.* (1990) e Manso *et al.* (2018).

As taxas de sedimentação dos testemunhos T1 a T8, em geral maiores que as médias globais apontam em outra direção, porém parecem estar associadas a um incremento mais recente de COT e lamas em direção ao topo dos testemunhos. O testemunho T2 do estuário do rio Capibaribe (BARCELLOS *et al.*, 2017), por exemplo, está localizado em um banco de intermarés e sequestra mais carbono que o T8 localizado no manguezal de Suape (OLIVEIRA *et al.*, 2021; PASSOS *et al.*, 2021), demonstrando a importância do aporte fluvial, principalmente associado às componentes orgânicas de origem antrópica. Embora Matos *et al.* (2020) e Perez *et*

al. (2018) afirmem que a distribuição dos índices de acumulação de COT entre os bosques de mangue e subambientes sedimentares adjacentes (franja, banco de intermarés e planície de maré) exibam diferenças não significativas entre os sítios sedimentares, visto que estas variações são influenciadas pela combinação de alguns fatores locais (ex. geomorfologia, cobertura vegetal, frequência de inundação, regime hidrológico e influência antrópica). De qualquer forma, a capacidade de acúmulo da matéria orgânica nos estuários de Pernambuco é alta, refletida pela média dos valores COTa para os 8 testemunhos ($0,64 \pm 0,54 \text{ cm yr}^{-1}$), superior as médias globais de MOT para mangues conservados ($0,36 \text{ cm yr}^{-1}$) (PEREZ *et al.*, 2018) e compatíveis com as atuais médias globais ($0,77 \text{ cm yr}^{-1}$) (BREITHAUPT *et al.*, 2012), visto que o COT representa 0,58 da MOT (ALLEN, 1974). Canfield (1994) aponta que, em geral, as taxas de sedimentação são consideradas o fator controlador principal na eficiência do acúmulo de MOT.

4.3 A DINÂMICA LOCAL DO CARBONO ORGÂNICO EM UMA PERSPECTIVA CLIMÁTICA

O estoque de COT são baixos a intermediários nos sistemas estuarino pernambucanos, quando comparados a costas dominadas por rios ou associadas a amplas áreas de solos/turfeiras de manguezais (entre 200 e 500 ha yr^{-1}) (ROVAI *et al.*, 2018), indicando que o aporte sedimentar fluvial é importante fator controlador nas taxas de sedimentação e acumulação de COT, bem como na formação do sedimento/solo do manguezal, no caso os solos sulfáticos ácidos costeiros (CASS: JOB *et al.*, 2018). No entanto, os estoques de COT são elevados quando comparados as planícies de lama intermarés situadas ao longo de riachos de mangue na costa amazônica brasileira.

Decréscimos nas precipitações associadas ao aumento global antropogênico de temperaturas já vem reduzindo os fluxos do aporte fluvial em diversos sistemas hídricos (PEKEL *et al.*, 2016; NAUMANN *et al.*, 2018). Globalmente, modificações na hidrologia estuarina estão ocorrendo, associadas principalmente a alterações nas bacias de drenagens, tais como o aumento nos níveis de extração de água nos cursos fluviais a montante e construção de barragens. Esse uso econômico que se estende para agricultura e populações urbanas em expansão também contribui para reduzir ou alterar a descarga fluvial média anual em diversas redes de drenagem e,

consequentemente, de sedimentos para os baixos estuários (MCDONALD *et al.*, 2011; JOB *et al.*, 2020). Este fator poderia aumentar o espaço de acomodação nas bacias receptoras estuarinas o que alteraria, tanto as taxas de sedimentação, como elevaria a plataforma e substrato de inundação dos manguezais associados, comprometendo a capacidade dos estuários e manguezais de repor este aumento de tempo de inundação (ROGERS *et al.*, 2019; SAINTILAN *et al.*, 2020; ROVAI *et al.*, 2018).

Em geral, aumentos nos espaços de acomodação levam a aumentos no estoque de carbono, particularmente onde o suprimento de sedimentos é constante e provido de vegetação com tempo suficiente para se ajustar aos controles biogênicos (ROGERS *et al.*, 2019). Embora aumentos no nível relativo do mar, possam aumentar processos erosivos derivados da ação de marés ou ondas, liberando o carbono estocado nos sedimentos para atmosfera, a não ser que continue sendo acumulado/sequestrado antes de ser remineralizado (COLLINS *et al.*, 2017; ROVAI *et al.*, 2018).

Como exemplo local dos processos erosivos que liberam o COT, em estuários impactados associados a grandes metrópoles como o do Capibaribe (Recife-PE), uma diminuição nos aportes de água doce levaria a uma menor renovação das águas pelas marés e, consequentemente, a um incremento do processo de eutrofização local. Isso pode ser indicado pelo aumento dos teores e da origem antrópica da matéria orgânica (efluentes de esgoto) no verão, período sazonal sujeito a uma baixa descarga fluvial ($\pm 2\text{ms}^{-1}$) (OLIVEIRA *et al.*, 2014; SCHETTINI *et al.*, 2016). Na verdade, isso já é observado no sistema, que é considerado como hipertrófico (OLIVEIRA, 2014; GÜENTER *et al.*, 2015).

De fato, segundo Gruber e Galloway (2008), a expansão descontrolada do desenvolvimento urbano e industrial em zonas urbanas costeiras pode perturbar os sistemas de manguezais, estimulando tanto o acúmulo de carbono, quanto a produção primária (eutrofização) e posterior liberação de CO_2 pela decomposição da matéria orgânica. E as emissões antropogênicas de CO_2 não serão mitigadas pela rede de sumidouro de carbono fornecido por um ecossistema, a menos que o carbono acumulado e a taxa de acúmulo aumentem ao longo do tempo (MCLEOD *et al.*, 2011).

Esta revisão/compilação indica que o estuário do rio Capibaribe, o estuário mais impactado e antropizado de todo o litoral de Pernambuco, acumulou mais

material orgânico (4,4% de COT em média), bem como apresenta os maiores estoques de carbono (109.470 gm^{-2} em média). A avaliação dos processos dinâmicos de sedimentação associados à distribuição de sedimentos no estuário, com o auxílio dos dados de correntes e batimétricos (MONTEIRO *et al.*, 2011; SCHETTINI *et al.*, 2016), em que mostra um predomínio de áreas deposicionais, indicam que o sistema é um retentor de sedimentos. De fato, as taxas de sedimentação observadas para o médio estuário do Capibaribe $0,44 \text{ cm.ano}^{-1}$ (BARCELLOS *et al.*, 2017) e para a Bacia do Pina $0,52 \text{ cm.ano}^{-1}$ (XAVIER *et al.*, 2016), são cerca de 2x maiores que as taxas de acreção médias para mangues globais ($0,28 \text{ cm.ano}^{-1}$) (BRIETHAUPT *et al.*, 2012).

Os amplos registros temporais holocênicos das taxas de acumulação mostrados neste trabalho são importantes, como variabilidade principalmente decadal, em ciclos climáticos que podem causar mudanças em grande escala no nível do mar e elevação de sedimentos em manguezais e outras zonas úmidas costeiras (SENEVIRATNE *et al.*, 2012). Os processos que contribuem para a elevação da superfície dos sedimentos (agradiação) são muitos, e a variabilidade espaço-temporal é substancial por causa dos processos de transporte/deposição e diagênese/degradação (ZIMMERMAN & CAÑUEL, 2000). Estudos de escala temporal mais curta representam os sedimentos menos densos bem como o material orgânico mais lábil (LOVELOCK *et al.*, 2013; ROGERS *et al.*, 2013; SAINTILAN *et al.*, 2013). Estes sedimentos superficiais são mais suscetíveis a eventos de erosão ou deposição pulsada e uma grande fração do material orgânico da superfície será remineralizado. Portanto, no mínimo, as taxas de acréscimo decadal são necessárias para determinar as taxas de acumulação de longo prazo (SANDERS *et al.*, 2014).

De uma perspectiva climática, grande parte do acúmulo de COT em sedimentos de estuários eutróficos pode ser compensado pela decomposição orgânica e a liberação subsequente de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono e óxido nitroso (MUNOZ-HINCAPIÉ *et al.*, 2002). Estudos (SANDERS *et al.*, 2014; ROVAI *et al.*, 2021, OLIVEIRA *et al.*, 2021; PASSOS *et al.*, 2021) apontam que os estuários influenciam fortemente a forma como os oceanos costeiros atuam como fonte ou sumidouro de CO_2 . Embora, seja previsível que as futuras mudanças climáticas elevem os fluxos de carbono dos rios, mudanças nos espaços de acomodação, inundações mais frequentes em manguezais, e modificações nas

estruturas e funções hidro e morfo desses estuários provavelmente levarão a maiores incertezas nas previsões desses fluxos (ROVAI *et al.*, 2018), prejudicando o equilíbrio sensível destes sistemas costeiros. Ademais, o aumento do nível do mar complica ainda mais as previsões, ao observarmos as modificações nas estruturas e funções hidrológicas e morfológicas desses estuários no futuro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre MOS realizados até o presente momento em PE apresentam resultados promissores e nos dão uma base satisfatória do comportamento e características gerais da MOS depositada nos diferentes tipos de sistemas estuarinos no estado. É necessário, no entanto, a continuidade e aprofundamento de pesquisas sobre o carbono orgânico uma vez que aproximadamente 50% dos estuários do estado ainda carecem de estudos básicos sobre sedimentologia e composição orgânica dos sedimentos.

Os principais estuários da região metropolitana do Recife (Capibaribe e Jaboatão) vêm sofrendo com conteúdo de carbono orgânico total em sedimentos superficiais próximo ou acima do limite de alerta apresentado pela resolução do CONAMA nº 454/12. O estuário do rio Formoso pertencente a uma área de proteção ambiental (APA de Guadalupe) apresentou valores de carbono orgânico total próximos do limite de alerta pelo CONAMA.

As médias dos fluxos de COTa calculadas são baixas a intermediárias comparadas às médias globais estimadas para sedimentos de costas dominadas por rios ou associadas a amplas áreas de solos/turfeiras de manguezais. No entanto, os estoques de COT calculados foram maiores do que os estimados para a costa amazônica brasileira, principalmente no estuário do rio Capibaribe. Observa-se que a capacidade de sequestrar e armazenar COT está devidamente relacionada com às altas taxas de sedimentação, principalmente para o T1, localizado no estuário do rio Capibaribe.

Considerando-se a importância ecológica e econômica desses ambientes, deve-se aumentar os esforços que tenham por objetivo o conhecimento desta temática para conservação. Uma vez que este litoral é uma das regiões mais amplamente exploradas e ocupadas de toda costa brasileira devido à sua

localização estratégica e às condições geográficas privilegiadas, possibilitando abrigar portos naturais.

Portanto, na gestão e conservação da zona costeiras, a detecção e avaliação da composição orgânica sedimentar é uma questão ambiental importante, uma vez que podem otimizar intervenções de órgãos de todas as esferas estatais e comunidades locais, gerando a preservação dos próprios sistemas sedimentares de *blue carbon*. E em uma perspectiva futura, é previsível que as futuras mudanças climáticas elevem os fluxos de carbono dos rios, também é provável que isso leve a maiores incertezas na previsão desses fluxos. O aumento do nível do mar complica ainda mais as previsões, ao observarmos as modificações nas estruturas e funções hidrológicas e morfológicas desses estuários no futuro.

REFERÊNCIAS

ALLEN, S. E. ***Chemical Analysis of Ecological Materials***, Journal of Chromatographic Science, x +565 p. New York, 1974.

ALONGI, DM Global **Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation**. Sci 2020, 2 , 67.

ARAUJO, T. C. M.; MALMANN, D. L. B.; NUNES, K. C.; BARCELLOS, R. L. ***Guia geomorfológico ilustrado do litoral de Pernambuco***. 1. ed v. 1. 184p. Curitiba, 2014.

ARAÚJO, G. F. **Modelagem de Fontes de Matéria Orgânica para bivalves e sua contaminação por organoclorados no sistema estuarino de Rio Capibaribe, Pernambuco**. Dissertação de mestrado, Pós graduação em Oceanografia – UFPE. Pernambuco, 2018

ARRUDA-SANTOS, R. H. DE; SCHETTINI, C. A. F.; YOGUI, G. T.; MACIEL, D. C.; ZANARDI-LAMARDO, E. **Sources and distribution of aromatic hydrocarbons in a tropical marine protected area estuary under influence of sugarcane cultivation**. v. 624, p. 935-944, Science of the Total Environment, 2017.

BARCELLOS, R.L., BERBEL, G.B., BRAGA, E DE S., FURTADO, V.V., **Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil**. Geochimica Brasiliensis (ISSN: 0102-9800), 19(1):022-036, Rio de Janeiro, 2005

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

BARCELLOS, R.L.; BRAGA, E.S.; FURTADO, V.V. & BERBEL, G.B.B. **Sedimentary and Geochemical Aspects of a Refinery Impacted Coastal Area: A Case Study of the Todos os Santos Bay (Bahia, Brazil)**. *International Journal of Geosciences*: 5, 1451-1467., 2014.

BARCELLOS, R.L.; ALVES, C.S.; FETTER-FILHO, A.F.H. **Geoquímica e dinâmica sedimentar do sistema estuarino do Rio Goiana**. 1. ed., v. 1. 89p. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Edições, 2016^a

BARCELLOS, R.L.; LINS, S. R.; COELHO JR., C. **Sedimentação e Geoquímica Costeira em uma Ilha Oceânica Brasileira**. 1. ed. v. 1. 80p. Saarbrücken, Deutschland: NEA - Edições, 2016b

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*, n. 75, p. 38-42. 2016c

BARCELLOS, R. L., FIGUEIRA, R. C. L.; FRANCA, E. J.; SCHETTINI, C. A. F.; XAVIER, D. A. **Changes of Estuarine Sedimentation Patterns by Urban Expansion: The Case of Middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil**. *International Journal of Geosciences*, 08: 514-535. 2017a.

BARCELLOS, R. L.; LINS, S. R. R. M.; COELHO JR, C.; TRAVASSOS, P. E. F. **Processos sedimentares sazonais e análise da fração arenosa no sistema ambiental do Sueste, Fernando de Noronha, Estado de Pernambuco**. Instituto de Ciências do Mar – Labomar. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 50, n. 1, p. 42-71, jan./jul. 2017b

BARCELLOS, R. L., & SANTOS, L. D. D. **Histórico de impactos ambientais e o estado da arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE)**. *Parcerias Estratégicas*, 23(46), 155-168. 2018

BARCELLOS, R. L., SANTOS, L. D. D., OLIVEIRA, T. R. S. D., OLIVEIRA, T. D. S., & SILVA, J. C. A. D. **Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)**. *Parcerias Estratégicas*, 23(46), 169-188. 2018.

BARCELLOS, R. L., MELO, M.C.S.S.; SIAL, A. N. & MANSO, V. D. A. V. **Sedimentary Organic Matter Characterization on a Tropical Continental Shelf in Northeastern Brazil**. *International Journal of Geosciences*, 11(6), 393-419. 2020

BARROS, L. C. **Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape-PE**. Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE, 186p. 2009.

BERNARDINO, A.F; SANDERS, C.J.; BISSOLI, L. B., ET AL. **Land use impacts on benthic bioturbation potential and carbon burial in Brazilian mangrove ecosystems**. *Limnology Oceanography*, 65 (10), 2366-2376. 2020.

BOYD, R., DALRYMPLE, R., & ZAITLIN, B. A. **Classification of clastic coastal depositional environments.** *Sedimentary Geology*, 80(3-4), 139-150. 1992.

BOYLES, J.M.; SCOTT, A.J.; & RINE, J.M. **A logging form for graphic descriptions of core and outcrop.** *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 56, n. 1, p. 567–568, 1986.

BRAGA, E. S. **Bioquímica marinha e efeitos da poluição nos processos bioquímicos.** Fundespa, 2002.

BREITHAUPT, JL, SMOAK, JM, SMITH, TJ III, SANDERS, CJ & HOARE, A. **Taxas de enterramento de carbono orgânico em sedimentos de mangue: Fortalecimento do orçamento global.** *Glob. Biogeochem. Cycles* 26 , GB3011, 2012.

CAMARGO, M. G. **Sysgran 3.0.** *Centro de Estudos do Mar–UFPR*. 2005. Disponível em [Http://200.17, 232](http://200.17.232).

CANUEL, E. A., CAMMER, S. S., MCINTOSH, H. A., & PONDELL, C. R. **Climate change impacts on the organic carbon cycle at the land-ocean interface.** *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40, 685-711. 2012.

CANFIELD, D.E. **Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments.** *Chemical Geology*. 114, 315–329, 1994 [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90061-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90061-2).

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

CHANT, R.J. & STONER, A.W. **Particle trapping in a stratified flood-dominant estuary.** *Journal of Sea Research*, 59:29-51. 2001.

CHMURA, G. L., ANISFELD, S. C., CAHOON, D. R., & LYNCH, J. C. **Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils.** *Global biogeochemical cycles*, 17(4). 2003.

COLLINS, D., AVDIS, A., ALLISON, P. ET al.. **Dinâmica das marés e sequestro de carbono dos manguezais durante o Oligo-Mioceno no Mar da China Meridional.** *Nat Commun* 8, 15698, 2017.

CONAMA. – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 454 de 1 de novembro de 2012.** 17p. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf. Acessado em 30 mai 2020.

COOPER, J. A. G. **Sedimentation in a river dominated estuary.** *Sedimentology*, 40(5), 979-1017, 1993.

CPRH, 2011. **Plano de Monitoramento dos Recursos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Jaboatão**. 2011. Disponível em:
<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/jaboatao.pdf>

CONTI, L. A., DA MOTA, G. T., & BARCELLOS, R. L. **High-resolution optical remote sensing for coastal benthic habitat mapping: A case study of the Suape Estuarine-Bay, Pernambuco, Brazil**. *Ocean & Coastal Management*, 193, 105205, 2020

COSTA, B. V. M. da. **Distribuição da Matéria Orgânica em Sedimentos Superficiais de um estuário Tropical Hipereutrofizado (Bacia do Pina – PE, Brasil)**. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 46, n. 2, p. 25-47. 2018.
 DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. **Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications**. *J Sediment Petrol* v. 62, p. 1130–1146, 1992.

DIAZ, R. J., & ROSENBERG, R. **Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems**. *Science*, v. 321(5891), p. 926-929, 2008.

DIESING, M., KRÖGER, S., PARKER, R., JENKINS, C., MASON, C., & WESTON, K. **Predicting the standing stock of organic carbon in surface sediments of the North–West European continental shelf**. *Biogeochemistry*, v 135, n. 1-2, p. 183-200, 2017.

DOMINGUES, E.D.C., SCHETTINI, C.A.F., TRUCCOLO, E.C. AND OLIVEIRA FILHO, J.C.D. **Hydrography and Currents on the Pernambuco Continental Shelf**. *RBRH* , 22, e43, 2017

DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. D. S. P., LEÃO, Z. M. D. A. N., & DE AZEVEDO, A. E. G. **Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20(1-4), p. 208-215, 1990.

DYER, K.R. **Sediment transport processes in estuaries**. In: Perillo, G.M.E. (Ed.) *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. New York, Elsevier, p. 423-449, 1995.

FAIRBRIDGE, R. W. **The estuary: its definition and geodynamic cycle**. 1980
 FINEP/UFPE, 2009. **Monitoramento Ambiental Integrado – MAI-PE. Recife, relatório técnico**. Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, 141p. 2009.

FINZI A.C.; COLE, J.J.; DONEY, S.C.; HOLLAND, E.A.; JACKSON, R.B. **Research frontiers in the analysis of coupled biogeochemical cycles**. *Front Ecol Environ* v. 9, p. 74–80, 2011.

FOLK, R.L. **THE Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature**. *The Journal of Geology*, v. 62, p. 344-359. 1954.

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

FEITOSA, F.A.N.; NASCIMENTO, F.C.R. & COSTA, K.M.P. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife - PE)**. Trab. Oceanogr. UFPE, Recife, 27 (2), 1-13. 1999

GRUBER, N., & GALLOWAY, J. N. **An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle**. *Nature*, 451(7176), 293-296, 2008.

GUENTHER, M.; ARAÚJO, M.; FLORES-MONTES, M.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. 2015. **Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary** Marine Pollution Bulletin, 91, 537-547, 2015

HARRIS, P., & BAKER, E. (EDS.). **Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats**. Elsevier, 2011,

HEDGES, J.I. & STERN, J.H. **Carbon and Nitrogen determination in carbonate-containing solids**. Limnol. Oceanogr.v. 29, 45-57. 1984

HILTON, M.J. **Sediment facies of an embayed costal sandy body, Paikiri, New Zealand**. Journal of Coastal Research, v. 11, p. 529-547, 1995.

HOSSAIN, S.; EYRE, B.; MCCONCHIE, D.. **Suspended sediment transport dynamics in the sub-tropical micro-tidal Richmond River estuary, Australia**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 52, p. 529-541, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010. **Banco de dados**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>. Acessado em 20 jul 2019.

INTÈS, A. & LE LOEUFF, P. **Les Annélides Polychètes de Côte d'Ivoire**. IV. Relations Faune-sédiments. *Océanographie Tropicale*, OSRTOM 21, p. 53-88, 1986.

IPCC. 2013. Intergovernmental Panel on Climatic Changes. **5th report**. www.ipcc.org

JOB, T. **A systemic investigation of coastal acid sulfate soil acidification in the River Murray Estuary, South Australia**. Faculty of Science. University of Sydney. Doctorate thesis. 278p. 2020.

JOB, T., PENNY, D., & HUA, Q. **Metal enrichment in estuarine sediments proximal to acid sulfate soils as a novel palaeodrought proxy**. *Science of The Total Environment*, 612, p. 247-256. 2018.

JOB, T., PENNY, D., & MORGAN, B. **Geochemical signatures of acidic drainage recorded in estuarine sediments after an extreme drought**. *Science of The Total Environment*, 141435, 2020.

KENCH, P. S. **Geomorphology of Australian estuaries: review and prospect.** *Australian Journal of Ecology*, v. 24, n. 4, p.367-380, 1999.

KOENING, M.L.; MACEDO, S.J.; TRAVASSOS, P.E.P.F. & PASSAVANTE, J.Z.O. **Biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Capibaribe (Recife - Pernambuco - Brasil).** *Arq. Biol. Tecnol.*, Curitiba, v.38, n.4, p.1071-1083, 1995.

KNOPPERS, B., EKAU, W. & FIGUEIREDO, A. **The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport.** *Geo-Marine Letters* 19, 171–178, 1999.
<https://doi.org/10.1007/s003670050106>

LARSSONEUR, C., BOUYASSE, P., & AUFRET, J. P. **The superficial sediments of the English Channel and its Western Approach.** *Sedimentology*, 29 (6), 851-864, 1982

LE MOS, R. T. O., CARVALHO, P. S. M. & ZANARDI-LAMARDO, E. **Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development.** *Marine Pollution Bulletin*, 82, 183-188, 2014.

LIMA, M.M.R.B.F. **Evolução geoquímica ambiental e avaliação da qualidade dos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão, Pernambuco.** Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE, 135p, 2011.

LIMA FILHO, M. F., BARBOSA, J., & DE 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.** *Geociências* (São Paulo), 25 (1), 117-126. 2007.

LOTZE H.K. **Historical reconstruction of human-induced changes in U.S. estuaries.** In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, ed. RN Gibson, RJA Atkinson, JDM Gordon, 48, 267–338. 2010.

LOVELOCK, C. E., M. F. ADAME, V. BENNION, M. HAYES, J. O'MARA, R. Reef, and N. S. Santini. **Contemporary rates of carbon sequestration through vertical accretion of sediments in mangrove forests and saltmarshes of southeast Queensland, Australia,** *Estuaries Coasts*, 1–9. 2013.

MACIEL, D. C., SOUZA, J. R. B., TANIGUCHI, S., BÍCEGO, M. C., ZANARDI-LAMARDO, E. **Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urbanized tropical estuary and adjacent shelf, Northeast of Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, 101, 429 – 433. 2015.

MACIEL D.C., DE SOUZA J.R., TANIGUCHI S, BÍCEGO M.C., SCHETTINI C.A., ZANARDI-LAMARDO E. **Hydrocarbons in sediments along a tropical estuary-shelf transition area: Sources and spatial distribution.** *Marine Pollution Bulletin*. 113(1-2), 566-571, 2016.

MACIEL, D.C.; CASTRO I.B.; SOUZA, J.R.B.; YOGUI, G.T.; FILMANN, G.; ZANARDI-LAMARDO, E. **Avaliação de organotins e imposex em dois estuários da costa nordeste brasileira.** *Marine Pollution Bulletin* 126, 473-478, 2018.

MAHIQUES, M. M. DE; M. G. TESSLER; V. V. FURTADO. **Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 431-446, 1998.

MALLMANN, D.L.B.M. ET AL. **Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo do Litoral de Pernambuco. Bahia-Pernambuco-Paraíba.** Recife, Linceu, 208p. 2011.

MANSO, V.A.V., COUTINHO, P.N., PEDROSA, F.J., MACEDO, R.J., SILVA, A.C., GOIS, L.A., BARCELLOS, R.L., ARRUDA, S. D. D., SOARES-JUNIOR, C.F.A., MADRUGA-FILHO, J. D., ARRAIS, M.M.C., MADRUGA, M.M.D. PERNAMBUCO. In: MUEHE, D., Org., **Panorama da Erosão Costeira no Brasil, Pernambuco**, Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 345-380, 2018.

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

MARTINS, S.E.M.M. **Estudo Paleoambiental de Sedimentos Holocênicos de dois estuários da costa de Pernambuco – NE do Brasil.** Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE, 211p.2017.

MARTINS, S. E. M., FRANÇA, M. C., SEDDIQUE, A. A., SIAL, A. N., PESSENDA, L. C. R., DE CAMARGO, P. B., SANTOS, L. R. O. C. & BARCELLOS, R.L. **Holocene vegetation changes according to sea-level and climate dynamics on tidal flats of the Formoso River estuary, northeastern Brazil.** *Quaternary International*. 2020.

MATEAR R.J; WANG, Y.P.; LENTON A. **Land and ocean nutrient and carbon cycle interactions.** *Curr Opin Environ Sustainability*, 2, 258–63, 2010.

MATOS, C. R.L.; BERRÊDO, J. F.; MACHADO, W. et al. **Carbon and nutrient accumulation in tropical mangrove creeks, Amazon region.** *Marine Geology*. 429, 106317. 2020.

MCLEOD, E., CHMURA, G.L., BOUILLON, S., SALM, R., BJÖRK, M., DUARTE, C.M., LOVELOCK, C.E., SCHLESINGER, W.H., SILLIMAN, B.R. **A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂.** *Front. Ecol. Environ*. 9, 552–560, 2011.

MEYERS, P. A., & EADIE, B. J. **Sources, degradation and recycling of organic matter associated with sinking particles in Lake Michigan.** *Organic Geochemistry*, 20 (1), 47-56, 1993.

MEYERS, P. A. **Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes.** *Organic Geochemistry*, 27, 213-250, 1997.

MIRANDA, L. B. D.; KJERFVE, B. & CASTRO, B. M. **Princípios de oceanografia física de estuários.** São Paulo: EDUSP. 2002.

MUÑOZ-HINCAPIÉ, M., MORELL, J. M., & CORREDOR, J. E. **Increase of nitrous oxide flux to the atmosphere upon nitrogen addition to red mangroves sediments.** *Marine Pollution Bulletin*, 44(10), 992-996, 2002.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts.** Baltimore: Munsell Color Company, 1975.

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

NAUMANN, G., ALFIERI, L., WYSER, K., MENTASCHI, L., BETTS, R.A., CARRAO, H., SPINONI, J., VOGT, J., FEYEN, L. **Global changes in drought conditions under different levels of warming.** *Geophysical Research Letters*, 45, 3285-3296, 2018.

OLIVEIRA-FILHO, J.C. **Processos de transporte e retenção de sedimentos em estuário de Ria com pequenas bacias hidrográficas.** Pré-tese de doutorado. PPGEOC -UFPE. 39p. 2020.

OLIVEIRA, L. E. E. DE, SANTOS, L. D. DOS, MONTES, M. DE J. F., BARCELLOS, R. L. **Influência da Maré na Variabilidade Sedimentar da Barra de Catuama, Ilha de Itamaracá, Pernambuco – Brasil.** *Estudos Geológicos*. 27(2), 2017.

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, IMPRESSO)*, 2019.

OLIVEIRA, T.S. & BARCELLOS, R.L. **Caracterização Sedimentológica e Geoquímica do Apicum do Sistema Estuarino do Rio Itapessoca, Goiana, Pernambuco, Brasil.** *Tropical Oceanography Revista online*, 2014.

OLIVEIRA, T. S. **Processo Sedimentar Atual e Distribuição da Matéria Orgânica no Sistema Estuarino do Rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (RecifePE).** Dissertação de mestrado, Pósgraduação em Oceanografia - UFPE. 113p.2014.

OLIVEIRA, T.S.; BARCELLOS, R.L.; SCHETTINNI, C.A.F. & CAMARGO, P.B. 2014. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife-PE, Brasil.** *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 14, n.3, p. 399-411, 2014.

OLIVEIRA, T.S.; CAMARGO, P. B.; BARCELLOS, R. L. **Distribution and origin of organic matter in a tropical estuarine system associated to a port area in Northeastern Brazil.** *ECSA 57 Changing estuaries, coasts and shelf systems - Diverse threats and opportunities.* Perth, Australia.2017.

OLIVEIRA, T. S., XAVIER, D. D. A., SANTOS, L. D., PASSOS, T. U., SANDERS, C. J., FRANÇA, E. J. & BARCELLOS, R. L. **Reconstructing the history of environmental impact in a tropical mangrove ecosystem: A case study from the Suape port-industrial complex, Brazil.** *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101747, 2021.

PACHAURI, R. K., & MEYER, L. A.. **Team Core.** IPCC: Geneva, 2014.

PARDAL, E. C. Aspectos sedimentológicos e geoquímicos do estuário do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco. Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE. 153p, 2019.

PARDAL, E. C.; XAVIER, D. A.; OLIVEIRA, I. M. V.; FLORES-MONTES, MANUEL, 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 (UFRGS)*, V. 46, p. E0852, 2019.

PASSOS, T.; PENNY, D.; SANDERS, C.; FRANÇA, E.; OLIVEIRA, T.; SANTOS, L.; BARCELLOS, R. **Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil,** *Marine Pollution Bulletin*, V. 166, ISSN 0025-326X, 2021.

PAULO, J. G. ET AL. **Allochthonous and autochthonous organic matter in an urban tropical estuarine area of northeastern Brazil.** *Journal of Coastal Research*, n. 64, p. 1798–1801, 2011.

PEKEL, J.F., COTTAM, A., GORELICK, N., BELWARD, A.S. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes.** *Nature* 540 p. 418-422, 2016. <https://doi.org/10.1038/nature20584>

PEJRUP, M. **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach.** *Tide-influenced sedimentary environments and facies. Reidel, Dordrecht*, p. 289-300, 1988.

PÉREZ, A., LIBARDONI, B.G., SANDERS, C.J., **Factors influencing organic carbon accumulation in mangrove ecosystems.** *Biol. Lett.* v. 14 n. 10, 2018. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0237>.

PERILLO, G. M. E. **Geomorphology and sedimentology of the estuaries: an introduction.** In *Estuaries: Perillo, G.M.E. (ed), Geomorphology and Sedimentology of Estuaries.* Amsterdam: Elsevier Science, cap 1, 1-16 p.1995.

PORRITT, E. L., JONES, B. G., PRICE, D. M., & CARVALHO, R. C. **Holocene delta progradation into an epeiric sea in northeastern Australia.** *Marine Geology*, 422, 106114, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106114>

RABALAIS, N.N.; DIAZ, R.J.; LEVIN, L.A., TURNER, R.E., GILBERT, D; ZHANG, J. 2010. **Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia.** *Biogeosciences* v. 7, p.585–619. 2010. <https://doi.org/10.5194/bg-7-585-2010>

RAMOS, A.M., SANTOS, L.A.R. AND FORTES, L.T.G. (EDS.). **Normais Climatológicas do Brasil**, 1961-1990. Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, 2009.

RASHID, M. A. **Physico-chemical Characteristics of Marine Humic Compounds**. In: *Geochemistry of Marine Humic Compounds*. Springer New York, p. 66-107. 1985.

RÉGIS, C.G., SOUZA-SANTOS, L.P., YOGUI, G.T., MORAES, A.S. & SCHETTINI, C.A.F. **Use of *Tisbe biminensis* nauplii in ecotoxicological tests and geochemical analyses to assess the sediment quality of a tropical urban estuary in northeastern Brazil**. *Marine Pollution Bulletin*. v. 137, p. 45-55, 2018. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.10.011

RESENDE, J.S.S. **Caracterização de fontes de distribuição de Matéria Orgânica no sedimento do estuário do Capibaribe (Pernambuco, Brasil) através de marcadores elementares, isotópicos e moleculares**. Dissertação de mestrado em Oceanografia. PPGO (UFPE), 2015.

RESENDE, J.S.S. & CRAVEIRO, N. **Análise Granulométrica e do Teor de Matéria Orgânica em Sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe – PE**. *Estudos Geológicos* 26(2):34-45 doi: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v. 26, n. 2, p. 34-45, 2016.

RICART, A. M.; PÉREZ, M.; ROMERO, J. 2017. **Landscape configuration modulates carbon storage in seagrass sediments**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 185, p. 69-76, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.12.011>

ROGERS, K., SAINTILAN, N. COPELAND, C. **Managed retreat of saline coastal wetlands: Challenges and opportunities identified from the Hunter River Estuary, Australia**, *Estuaries Coasts*, v. 37, n.1,p. 67–78, 2013.<https://doi.org/10.1007/s12237-013-9664-6>

ROMANKEVICH, E. A. **Geochemistry of Organic Matter in the Ocean**. New York, Springer-Verlag, 334p., 2013.

ROVAI, A.S., TWILLEY, R.R., CASTAÑEDA-MOYA, E. et al. **Global controls on carbon storage in mangrove soils**. *Nature Clim Change* 8, p. 534–538,2018. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0162-5>

SAINTILAN, N., ROGERS, K., MAZUMDER, D. WOODROFFE, C.. **Allochthonous and autochthonous contributions to carbon accumulation and carbon store in southeastern Australian coastal wetlands**, *Estuarine Coastal Shelf Sci.*,v. 128, p. 84–92, 2013.

SAITO, R. T.; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, V & CUNHA, I. I. L. **Geochronology of sediments in the Cananéia-Iguape estuary and in southern continental shelf of São Paulo State, Brazil**. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 250, n.. 1, p.109–115, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1013228616973>

SANDERS, C. J., SMOAK, J. M., NAIDU, A. S., SANDERS, L. M., & PATCHINEELAM, S. R. **Organic carbon burial in a mangrove forest, margin and intertidal mud flat.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 90, n 3, p. 168-172, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.08.013>

SANDERS, C. J., EYRE, B. D., SANTOS, I. R., MACHADO, W., LUIZ-SILVA, W., SMOAK, J. M. & SILVA-FILHO, E.. **Elevated rates of organic carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in a highly impacted mangrove wetland.** *Geophysical Research Letters*, v. 41, n. 7, p. 2475-2480, 2014.

SANTOS, L.D.; BARCELLOS, R.L. **Sedimentação atual do estuário do Rio Formoso - PE (Brasil).** 1. ed. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Novas Edições Acadêmicas, v. 1, 113 p., 2017.

SANTOS, L. D.; VEIGA, T. T; CAMARGO, P.B.; BARCELLOS, R.L. **Influence of the industrial port complex of Suape on seasonal distribution of estuarine surficial sediments and organic matter.** International Conference on Coastal Sediments 2019. https://doi.org/10.1142/9789811204487_0155.

SANTOS, T.G.; BEZERRA-JUNIOR, J.L.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N. **Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE).** Revista Brasileira de Engenharia de Pesca (ISSN: 1980-587X), São Luis, MA, Brasil. v. 4, n. 1, p. 95-109, 2009.

SCHETTINI, CARLOS AUGUSTO FRANÇA, MIRANDA, JOSINEIDE B. DE, VALLE-LEVINSON, ARNOLDO, TRUCCOLO, ELIANE C., & DOMINGUES, ERNESTO C. **A circulação do Estuário do Baixo Capibaribe (Brasil) e suas implicações para o transporte de escalares.** *Jornal Brasileiro de Oceanografia*, v 64, n. 3), p. 263-276, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592016119106403>

SCHETTINI, C.A.F., DOMINGUES, E.C., TRUCCOLO, E.C., OLIVEIRA FILHO, J.C., MAZZINI, P.L.F. **Seasonal variability of water masses and currents at the eastern Brazilian continental shelf (7.5–9° S).** *Regional Studies in Marine Science*, v.16p. 131-144, 2017.

SCHUBEL JR & CARTER H.H. 1984. **Fine-grained suspended sediment.** In: KENNEDY VS (Ed.). *The estuary as a filter*. Orlando, Academic Press, Inc., p. 81-105, 1984

SENEVIRATNE, S. I., ET al. **Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental, 2012. Panel on Climate Change (IPCC), edited by C. B. Field, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., and New York. p. 109–230,

SILVA, A. F., KLEIN, A. H. F., PETERMANN, R. M., MENEZES, J., SPERB, R., & GHERARDI, D. **Índice de sensibilidade do litoral (ISL) ao derramamento de óleo, para a Ilha de Santa Catarina e áreas do entorno.** *Brazilian Journal for Aquatic Sciences and Technology*, v.12, n.2, p. 73-89. 2008.

SILVA, J. B., GALVÍNCIO, J. D., DE BARROS CORRÊA, A. C., DA SILVA, D. G., & MACHADO, C. C. C. **Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM** (Geomorphologic Classification of Estuaries of the State of Pernambuco (Brazil) Based on Landsat 5 TM Images). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, 1, p. 118-133, 2011.

SOUZA, M. F., LONGHINI, C. M., SILVA, A. M., & LENTINI, C. A. D. 2012. Ciclo do Carbono: **Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos**. *Revista Virtual de Química*, v. 4, n.5, p. 566-582, 2012.

STATHAM, P.J. **Nutrients in estuaries—an overview and the potential impacts of climate change**, *Sci Total Environ.*, v. 434, p. 213-227, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.088>

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

SUMMERHAYES, C.P., FAINSTEIN, R & ELLIS, J.P. **Continental margin off Sergipe and Alagoas, Northeast Brazil: a reconnaissance geophysical study of morphology and structure**. *Mar. Geol.*, v. 20: p. 345-361. 1976.
[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(76\)90112-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(76)90112-2)

TRAVASSOS, R. K.; MONTES, M. J. F.; COSTA, B. V. M.; SILVA JR., J. M.A **Influência de Efluentes Urbanos na Razão C / N Elemental em uma Área Costeira Tropical do Nordeste do Brasil**. *Journal of Coastal Research*. v. 75, p. 168–172, 2016. <https://doi.org/10.2112/SI75-034.1>

TRIMMER, M., GREY, J., HEPPELL, C. M., HILDREW, A. G., LANSDOWN, K., STAHL, H., & YVON-DUROCHER, G. **River-bed carbon and nitrogen cycling: state of play and some new directions**. *Science of the total environment*, v 434, p. 143-158, 2012.

VALLE-LEVINSON, A. **Contemporary Issues in Estuarine Physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

VITAL, H., SILVEIRA, I.M.D. AND AMARO, V.E.. **Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira: Área Guamaré a Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológicos e Sensoriamento Remoto**. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, p. 233-241, 2005.

WALKER, R.G. **Facies, facies models and modern stratigraphic concepts**. In: Walker, R.G. & James, N.P. (Eds.) *Facies Models – Response to sea Level Change*. Ontario, Geological Association of Canadá. p.1-14, 1992.

WALKER, R.G. **Facies models revisited**. In: Posamentier, H.W. & Walker, R.G. (Eds.) *Facies models revisited*. Tulsa, Oklahoma, U.S.A, Society for Sedimentary Geology. SEPM Special Publication, v. 84, p. 1-17, 2006.

WOLANSKI, E. **Hydrodynamics of mangrove swamps and their coastal waters.** *Hydrobiologia* v. 247, p. 141–161, 1992.

WOLANSKI, E., DAY, J. W., ELLIOTT, M., & RAMESH, R. (Eds.). **Coasts and Estuaries: The Future.** Elsevier, 2019.

WOODROFFE, C. **Mangrove sediments and geomorphology**, in Coastal and Estuarine Studies: Tropical Mangrove Ecosystem, edited by A.I. Robertson and D. M. Alongi, AGU, Washington, D. C. p. 7–41, 1992.

WOODROFFE, C. D. **Coasts: form, process and evolution.** Cambridge University Press, 2002.

XAVIER, D. A.; BARCELLOS, R. L.; FIGUEIRA, R. C. L.; SCHETTINI, C. A. F. **Evolução sedimentar do estuário do rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização.** *Tropical Oceanography (Online)*, v. 2, p. 74-88, 2016.

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

ZANARDI-LAMARDO, ELIETE ET AL. **Variabilidade intratidal e transporte de hidrocarbonetos aromáticos de petróleo em um sistema estuarino tropical antropizado: o estuário de Suape (8.4S 35W).** *Braz. j. oceanogr. [conectados]*. vol.66, n.1, pp.47-57, 2018. ISSN 1982-436X. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592018148006601>

ZIMMERMAN, A. R., CANUEL, E. A.. **A geochemical record of eutrophication and anoxia in Chesapeake Bay sediments: Anthropogenic influence on organic matter composition,** *Mar. Chem.*, v. 69, n. 1-2, p. 117–137, 2000.

6.2 ARTIGO 2 - “CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO SAZONAL DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR EM SISTEMAS ESTUARINOS TROPICAIS SOB A INFLUÊNCIA COMUM DE UM COMPLEXO INDUSTRIAL-PORTUÁRIO”.

L.D. Santos, R. C. Carvalho, T. S. Oliveira, T. T Veiga, D. A. Xavier, P. B. Camargo, R. L. Barcellos

RESUMO

Este artigo tem como objetivo evoluir o conhecimento sobre processos sedimentares espaço-temporais, em escala de tempo sazonal, dos sistemas

estuarinos de Ipojuca e Suape, adjacentes ao CIPS (Complexo Industrial Portuário de Suape), por meio do comportamento da Matéria Orgânica Sedimentar. Foram coletadas no inverno de 2016 e verão de 2017, 44 amostras sazonais: 26 em Ipojuca e 18 em Suape, totalizando 88 amostras de sedimentos superficiais. Os sedimentos do sistema estuarino-lagunar Ipojuca/Massangana-Suape são litoclásticos arenosos, com baixos conteúdos de MOT (Matéria Orgânica Total) de origem predominantemente continental e mista. A dinâmica sedimentar é influenciada tanto pela pluviosidade, vazão/aporte fluvial e hidrodinâmica de correntes geradas pelas marés quanto pelas mudanças estruturais sofridas pela instalação do CIPS, tais como: topografia/batimetria, rios desviados, canais de navegação dragados, geometria geral original do estuário modificada, aporte e fontes de sedimentos e material antropogênico. O sistema do Ipojuca apresentou maior heterogeneidade sedimentar do que o de Suape na distribuição dos parâmetros estudados, principalmente no inverno, identificados em 4 subambientes: baía de Ipojuca, laguna de Muro Alto e os estuários do rio Ipojuca e Merepe. Apesar de ter sido observado altos valores de MOT (máxima de 40% e média de 7%), pode-se dizer que os níveis de COT são baixos ($COT < 5\%$) e estão abaixo do valor de alerta da resolução dos órgãos reguladores brasileiros (CONAMA). No entanto, o estado trófico indica que o sistema estuarino vem sofrendo com eutrofização, principalmente na região do estuário do rio Ipojuca. Por fim, percebe-se que área mais confinada e impactada entre as instalações portuárias e industriais (ST35), apresenta teor de COT acima do CONAMA (14,7%) e já vem sendo relatada como uma área de estresse ambiental em outros estudos

Palavras-chave: Matéria orgânica sedimentar (MOS), porto de Suape, geoquímica estuarina, sazonalidade.

ABSTRACT

This article is intended to increase the knowledge on seasonal spatio-temporal sedimentary processes of the Ipojuca and Suape estuarine systems, located in the Suape Port-Industrial Complex (CIPS), through the behavior of Sedimentary Organic Matter. 44 seasonal samples of surficial sediments were collected in 2016 winter and 2017 summer, 26 in Ipojuca and 18 in Suape, totaling 88 samples. The sediments of the Ipojuca / Massangana-Suape estuarine-lagoonal system are sandy lithoclastics,

with low Total Organic Matter (TOM) content of predominantly continental and mixed origin. The sedimentary dynamics is influenced both by rainfall, river flow/input and hydrodynamics of currents generated by the tides and by the changes undergone by the CIPS installation, such as: topography/bathymetry, diverted rivers, dredged navigation channels, original general geometry of the modified estuary, input and sources of sediments and anthropogenic material. The Ipojuca system showed higher heterogeneity in the faciology than the Suape-Massangana. In the Ipojuca, side were identified four sub-environments: Ipojuca Bay, Muro Alto Lagoon and the estuaries of the Ipojuca and Merepe rivers. Despite high TOM values (maximum 40% and average of 7%), TOC levels are lower (<5%) than the threshold established by the Brazilian regulatory agencies resolution (CONAMA). However, the trophic state indicates that the estuarine system has been subjected to eutrophication, mainly in the region of the Ipojuca River estuary. Finally, it is clear that the most confined and impacted area between the inner port area and industrial complex (ST35), has a TOC content above CONAMA (14.7%) and has already been reported as an area of environmental stress in other studies

Keywords: Sedimentary Organic Matter, Suape harbour, estuarine geochemistry, seasonality.

1 INTRODUÇÃO

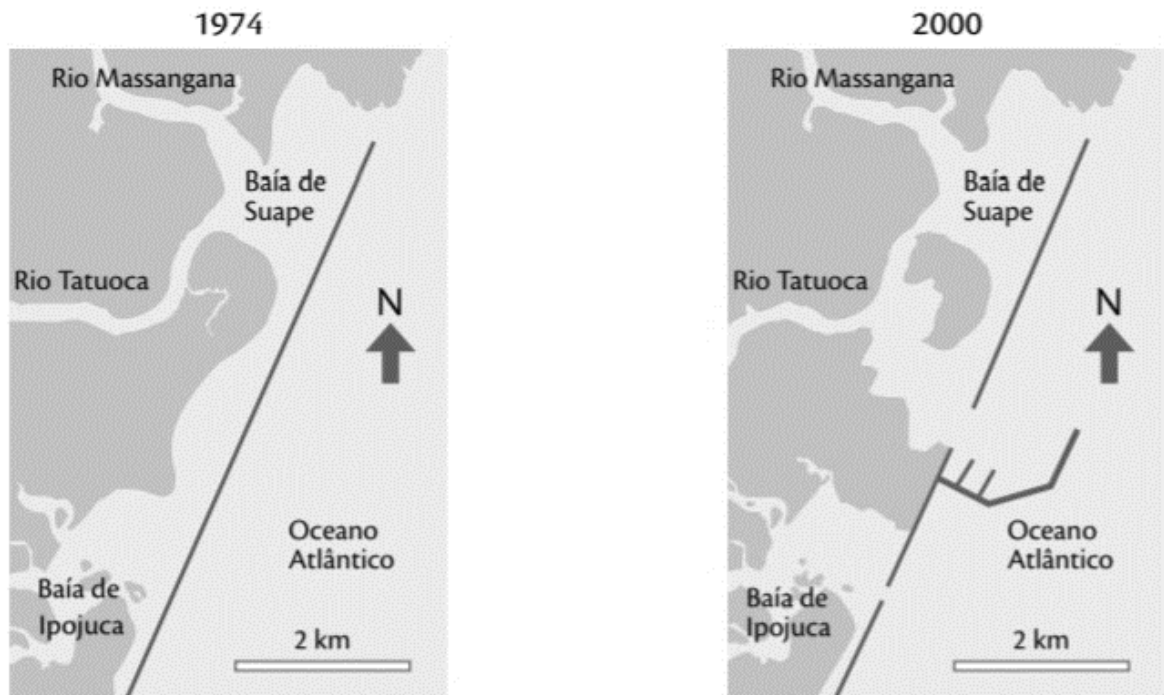
Os estuários, como ambientes costeiros deposicionais, podem ser poluídos por múltiplas fontes, como efluentes industriais, descarga de esgoto, entrada de material solúvel e particulado de rios, entre outros (MATTHIESSEN & LAW, 2002; HU et al., 2015; XAVIER et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; PASSOS et al, 2021; PASSOS et al., 2022; ALBUQUERQUE et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2022). Portanto, este tipo de ambiente oferece condições ideais para o desenvolvimento de estudos que caracterizam a geologia ambiental, uma vez que acumulam e preservam sedimentos e matéria orgânica proveniente de fontes fluviais e oceânicas cujos seus constituintes são sensíveis às mudanças ambientais e climáticas (PORTELA, 2013; PARDAL et al., 2019).

Os altos contingentes de população na zona costeira significam a grande importância dessas regiões para a sociedade, mas a presença humana nos ambientes costeiros contribui para sua alteração e sua deterioração (DIAZ &

ROSENBERG, 2008; LOTZE, 2010; RABALAIS et al., 2010). O sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana-Suape abriga um dos maiores projetos de desenvolvimento da economia do País, o Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS). A implantação de Portos sempre foi importante para o desenvolvimento econômico das nações (COSTA et al., 2014) e com o CIPS, a economia Pernambucana também foi alavancada (ZANARDI-LAMARDO et al., 2018).

Entre 1978 e 1984, o CIPS foi implantado na região e até o início dos anos 1970, o ambiente era relativamente bem preservado (BARCELLOS & SANTOS, 2018; OLIVEIRA et al., 2019; PASSOS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021). No entanto, implantações de Portos são associadas a diversos tipos de impactos antropogênicos: acumulação e dragagem de sedimentos, aterros sanitários e supressão da vegetação local, que têm efeitos diretos e indiretos nas comunidades biológicas que habitam esses ecossistemas degradados (COSTA et al., 2014). Diante disto, acredita-se que a região tenha sido impactada durante o processo de implantação do CIPS. Visto que uma área considerável do manguezal foi suprimida (> 600ha), rios foram desviados, canais de navegação dragados e a geometria geral original do estuário foi modificada (ZANARDI-LAMARDO et al., 2018). Barcellos e Santos (2018) apontam que o sistema costeiro que originalmente era contínuo e com uma conexão livre com o oceano foi aterrado parcialmente e passou a ser seccionado em duas baías: Suape ao norte e Ipojuca ao sul com a construção do CIPS (Figura 1).

Figura 1: Configuração do sistema estuarino-lagunar de Suape antes (1974) e após a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape



Fonte: Barcellos & Santos (2018).

Segundo Schettini et al. (2017), as características de circulação nos estuários podem ser modificadas por mudanças diretas na bacia estuarina e alterações fora do próprio estuário, como por exemplo na bacia de drenagem. Portanto, acredita-se que a hidrodinâmica da região também tenha sido remodelada e, conseqüentemente, a distribuição espacial dos sedimentos.

A Matéria Orgânica Sedimentar (MOS) é um dos componentes dos sedimentos, que trazem informações sobre as interações biogeoquímicas entre a atmosfera, a biosfera e geosfera (TYSON, 1995). Ela é influenciada principalmente pelos aportes marinhos e continentais, onde seu estudo permite inferências sobre suas fontes e origem (MEYERS, 1997). Estes conteúdos orgânicos são correlacionados a uma série de fatores como dinâmica sedimentar, produtividade da coluna de água, taxas de consumo microbiano, todos associados às condições hidrológicas e oceanográficas (BOUILLON, 2002). A caracterização da matéria orgânica presente nos sedimentos é de extrema importância nos estudos ambientais, visto que é possível inferir a origem e os processos a que estes ambientes estiveram ou estão submetidos (TYSON, 1995). Vários métodos têm sido

utilizados para determinar a origem da MOS por meio dos marcadores geoquímicos em estudos com ênfase ecológico-ambiental.

Bordovsky (1965) e Meyers (1997) classificaram a origem da MOS com a razão C/N com os intervalos: 4 a 7 como fitoplâncton; 8 a 12 se misturam entre material terrestre e planctônico; e > 20 como entrada terrígena de plantas superiores (C3). Outro traçador da origem da matéria orgânica são os isótopos estáveis de carbono (^{13}C e ^{12}C) e nitrogênio (^{15}N e ^{14}N) (MEYERS, 1994). A utilidade desses parâmetros reside no fato de que cada um deles exibe assinaturas específicas da fonte características. Por exemplo, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para plantas terrestres C3 variam de -26‰ a -28‰ PDB e para o fitoplâncton marinho de -19‰ a -22‰ PDB (FRY & SHERR, 1984; EMERSON & HEDGES, 1988; FONTUGNE & JOUANNEAU, 1987; BOUTTON, 1991). Da mesma forma, os valores $\delta^{15}\text{N}$ típicos de plantas vasculares terrestres variam de -5‰ a $+ 18\text{‰}$ Ar (WADA & HATTORI, 1991; MÜLLER & VOSS, 1999; MAKSYMOWSKA et al., 2000). Conteúdos mais altos de $\delta^{15}\text{N}$ ($> 6\text{‰}$ Ar) podem ser indicativos de enriquecimento bacteriano por processos de eutrofização associados a impactos antrópicos em áreas costeiras (CONSTANZO et al, 2005; CONRAD et al, 2017).

Neste contexto, o objetivo do presente estudo é evoluir o conhecimento sobre processos sedimentares espaço-temporais, em escala de tempo sazonal, dos sistemas estuarinos de Ipojuca e Suape, adjacentes ao CIPS, por meio do comportamento da MOS. As características composicionais dos sedimentos, como o conteúdo elementar e isotópico da MOS, serão utilizadas como indicadores ambientais dos processos sedimentares estuarinos sazonais em ambas as áreas. O emprego de uma abordagem multi-proxies para a avaliação da influência dos aportes naturais e antrópicos de materiais, sua variabilidade sazonal, em quantidade (volume de MOS) e qualidade (origem da MOS) e interação com a faciologia sedimentar (textura, MOS e CaCO_3) serão também analisados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana-Suape está localizado no litoral de Pernambuco ($8^{\circ}22'\text{S}/34^{\circ}57'\text{W}$), entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho ($2,1 \times 10^5$ habitantes) e Ipojuca ($9,9 \times 10^4$ habitantes), ocupando aproximadamente 13.600ha, dos quais 3.233ha correspondem ao Complexo

Industrial-Portuário de Suape (CIPS) (PORTO DE SUAPE, 2020; IBGE, 2021). Segundo Silva et al., (2011) e Barcellos et al. (2018), a atual área estuarina cobre cerca de 10 km² de espelho-d'água e pode ser considerada como um sistema estuarino-lagunar associado ao delta intralagunar do rio Ipojuca. A vegetação original era a Mata Atlântica, a qual foi substituída na maior parte da área, pela cana-de-açúcar antes da implantação do CIPS (PASSOS et al., 2021).

Segundo Neumann et al. (1998), há três compartimentações geomorfológicas: domínio colinoso, rampas de colúvio e a planície costeira. As principais unidades sedimentares e geológicas da área são: Complexo Borborema (Granitos e Gnaisses ~600Ma); Formação Cabo (conglomerados: ~125-115Ma); Suíte Magmática de Ipojuca (basaltos, riolitos e granitos: ~105-100Ma); Formação Estiva (calcários: ~100-90Ma); Formação Algodoads (arenitos e conglomerados: ~85Ma) e depósitos quaternários (CRUZ et al., 2003; LIMA FILHO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2020). Adjacente ao complexo estuarino, encontram-se ambientes de manguezais, praias arenosas, recifes, prados de gramas marinhas, bancos de intermarés, apicuns entre outros (PORTO DE SUAPE, 2020; BONTEMPO et al., 2022).

Silva et al. (2011) classifica o sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana-Suape como do tipo laguna costeira estuarina, com sedimentos arenosos, siliciclásticos e moderadamente selecionados e com baixo conteúdo orgânico de MOS, exceto na área do canal interno do porto (estuário do Tatuoca), dragado a 16 m de profundidade (BARCELLOS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

Em relação ao clima, a região é classificada segundo Köppen do tipo As' - tropical com temperatura média anual de 25°C, com índices pluviométricos distribuídos de modo desigual ao longo do ano com períodos seco em torno de 500 mm/ano e chuvoso com cerca de 1500 mm/ano (PORTO DE SUAPE, 2020) (BARCELLOS & SANTOS, 2018).

Quanto aos parâmetros oceanográficos, o sistema estuarino experimenta marés semidiurnas, em um regime de mesomarés, com amplitudes médias em torno de 2m na sizígia e de 0,7m na quadratura (PORTO DE SUAPE, 2020; SCHETTINI et al., 2016). O regime de ondas apresenta altura significativa e período de ondas anual médio em torno de 1,11 m e 6,28 s, respectivamente, com altura de ondas menores no verão (0,85 m) e maiores no inverno (1,25 m) (BARROS et al., 2011). A intensidade e a direção das ondas que chegam ao complexo estuarino são

decorrentes da interação sazonal dos ventos alísios, influenciando também nas correntes costeiras. Onde no período seco (primavera-verão), os ventos têm predominância de direção nordeste, gerando correntes na direção Norte-Sul. Já no período chuvoso (outono-inverno) há o predomínio na região de ventos alísios de Sul-Sudeste, ocasionando a inversão das correntes para o sentido Sul-Norte (LIRA et al., 2010).

Em relação às características hidrográficas, a área de estudo apresenta rios costeiros como o Massangana (102 km²), o Tatuoca (13 km²) e o Merepe (87 km²) que compõem as Pequenas Bacias Hidrográficas Costeiras (GL2 e GL3) e o rio Ipojuca classificado como um rio translitorâneo, com cerca de 315 km de extensão, 135 km² de área estuarina e bacia hidrográfica da ordem de 3.500 km² (NEUMMANN, 1991; OLIVEIRA et al., 2019; APAC, 2022).

Com a implantação do CIPS ocorreram inúmeras mudanças geomorfológicas, alterando a linha de costa, os cursos dos rios e criando outros compartimentos geomorfológicos como lagunas costeiras em forma de baías: a baía de Suape onde desaguam os rios Massangana e Tatuoca e a baía de Ipojuca onde desembocam os rios Ipojuca e Merepe (Figura 1).

As mudanças do CIPS promoveram características geomorfológicas e oceanográficas distintas entre as baías. Na Baía de Suape apresenta um canal de fluxo associado à foz do Massangana que se estende até o centro da área da baía lagunar com duas áreas rasas de baixa declividade (bancos de intermarés e planícies associados à ilha de Cocaia e à praia de Suape) ao longo dos flancos do canal (CONTI et al., 2020; FABIN et al., 2020). Conti et al., (2020) descreveram que na região cerca de 500 m da praia de Suape ocorre um aumento das profundidades, no sentido NE, na direção da desembocadura da baía entre os beachrocks e o promontório do Cabo de Santo Agostinho, formando um talude.

A região de maior energia da Baía de Suape ficou limitada exclusivamente à área da desembocadura do Rio Massangana, que apresenta por sua vez, vazões inferiores a 2 m³.s⁻¹. As velocidades de corrente de maré desta área variam, durante o período de menor pluviosidade, de 0,07 a 0,80 m.s⁻¹ e durante o período chuvoso de 0,26 a 1,44 m.s⁻¹ (FABIN et al., 2020).

A Baía de Ipojuca apresenta uma morfologia mais rasa com profundidades menores que 2m em toda a sua extensão e presença de bancos arenosos de intermaré. Nas proximidades do canal principal do rio Ipojuca apresentam as

profundidades maiores que 5m, bem como nas proximidades do CIPS onde está localizado o canal original do rio anterior à construção do porto, localizado nas adjacências da desembocadura do sistema no oceano (LINS, 2002; VASCONCELOS, 2019).

Em termos hidrográficos, o rio Ipojuca apresenta um maior fluxo quando comparado ao rio Merepe, sua bacia hidrográfica é de aproximadamente 3,433 km² com vazão média de aproximadamente 17m³.s⁻¹, com regime temporário no agreste Pernambucano e perene ao adentrar a Zona da Mata (PERNAMBUCO, 1998; KOENING et al., 2002). A zona estuarina do rio Ipojuca é classificada como do subtipo 1b, com estratificação moderada a forte com circulação dominada pelas marés, resultando em um transporte líquido de descarga tanto no período chuvoso quanto na estiagem (Lins & Medeiros, 2018). Quanto às correntes de marés, Lins (2018) registrou as mais intensas durante a maré de sizígia no período chuvoso para o alto estuário do rio Ipojuca com valores de 71,4 a 89,6 cm.s⁻¹.

Com relação ao uso do solo, Fraga et al. (2013) descreveram a presença de três zonas distintas: a zona rural, na qual compreende a área de nascentes dos rios; a zona industrial, área do complexo industrial do Porto de Suape e seu entorno e a zona estuarina, área das baías de Suape e Ipojuca e os ambientes sedimentares em seu entorno.

Em relação à evolução sedimentar e aumento dos impactos no ambiente estuarino, Oliveira et al. (2021, 2020) e Passos et al. (2021) observaram, para a área do manguezal e baixo estuário do rio Massangana, um aumento em duas vezes nas concentrações de carbono e nitrogênio da matéria orgânica sedimentar e metais (Ga, Zn, V, Pb) nos últimos 40 anos, estes estariam associados ao incremento populacional da área e à influência da construção do CIPS. Confirmados pela pesquisa de Oliveira et al. (2022) que observaram indicativos de impactos ambientais atuais em estudos sobre assembleias de foraminíferos bentônicos em toda área do complexo estuarino.

2.2 Etapa de Campo, Análises e Tratamentos dos Dados

Os sedimentos superficiais foram coletados com o auxílio de uma embarcação e um amostrado pontual do tipo Van Veen no mês de setembro (estação chuvosa) de 2016 e março (estação seca) de 2017. As profundidades das amostras foram mensuradas por meio de um ecobatímetro (GPSMAP 527xs da GARMIN) e o posicionamento das estações de coleta através de um GPS Garmin-Etrex 20. Para

cada cruzeiro foram coletados sedimentos superficiais em 44 estações (ST), totalizando 88 amostragens (Figura 2).

A análise granulométrica seguiu a metodologia de peneiramento e pipetagem descritas por Müller (1967) e Suguio (1973). A partir dos dados obtidos foram realizadas a classificação faciológica do diagrama textural de Shepard (1954) e a análise dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957). Por fim, para a avaliação da dinâmica estuarina foi utilizado o diagrama de Pejrup (1988).

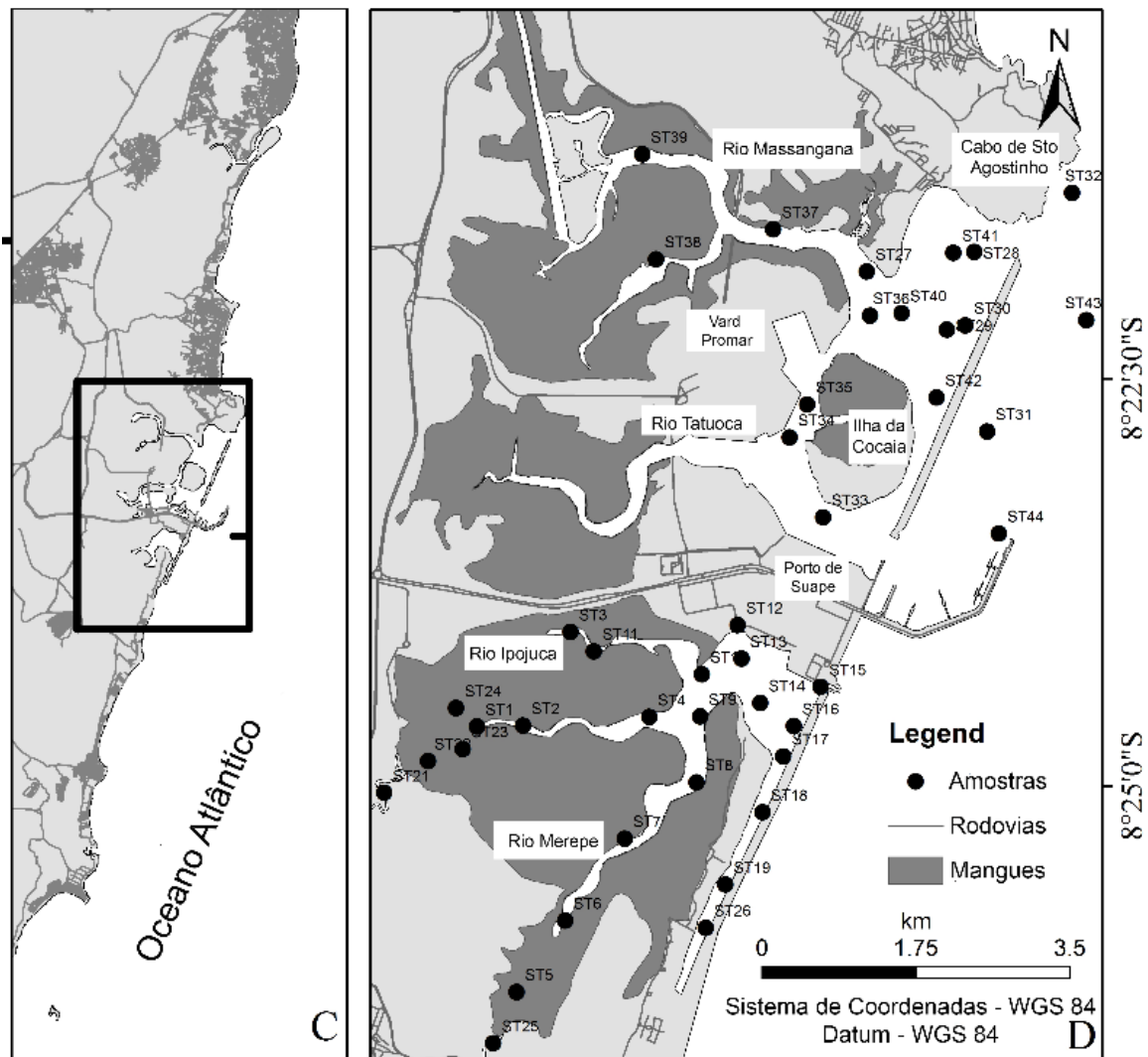
Os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) e matéria orgânica total (MOT) foram obtidos pela diferença de peso seco entre as amostras antes e após a ataque químico com HCl e H_2O_2 a 10%, respectivamente (CARVER, 1971). Com os dados dos teores de cálcio, as estações foram classificadas segundo Larssonneur et al. (1982).

As frações elementares e isotópicas de carbono (COT e $\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio (NT e $\delta^{15}\text{N}$) foram preparadas de acordo com a técnica descrita por Hedges e Stern (1984) e processadas por um analisador elementar (Carlo Erba®, CHN-1110) acoplado a um espectrômetro de massa IRMS (Finnigan®, Delta Plus). Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) (em partes por mil) são referidos, respectivamente, ao PDB (Pee Dee Belemnite) e ao Ar (ar atmosférico). Os valores das razões elementares C/N também indicativos da origem da MOS, por sua vez, foram obtidos divisão simples entre teores absolutos de C e N de cada amostra analisada.

Para a obtenção do índice do estado trófico dos sedimentos da região seguiu a metodologia proposta por Hakanson (1984) que é baseada no indicador BPN (Bio Production Number), obtido através do cálculo $\text{BPN} = \text{NT}(\%) / \text{MOT}(\%) \times 100$, onde NT é a porcentagem de nitrogênio total da amostra e MOT é a porcentagem da matéria orgânica total no sedimentos.

Para o tratamento estatístico dos dados foi realizado a análise de correlação linear de Pearson entre os parâmetros as porcentagens de cascalho, areia, lama (silte+argila), CaCO_3 , MOT, COT, NT, e as razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$).

Figura 2: Localização dos sistemas estuarino-lagunares do Ipojuca e Suape, e do CIPS no litoral pernambucano (A) e indicação dos pontos de amostragem ao longo dos sistemas estuarinos (B).



Fonte: Autor (2022)

3 RESULTADOS

As características sedimentológicas para o sistema estuarino lagunar registrou sedimentos de granulação variando de areia grossa ($-0,61\Phi$) a silte muito fino ($8,42\Phi$) com predominância de areia média ($1,62\Phi$). Além disso, as Baías de Suape e do Ipojuca apresentaram características sedimentares distintas, onde na baía de Suape se tem a predominância de sedimentos de granulação areia média e para a

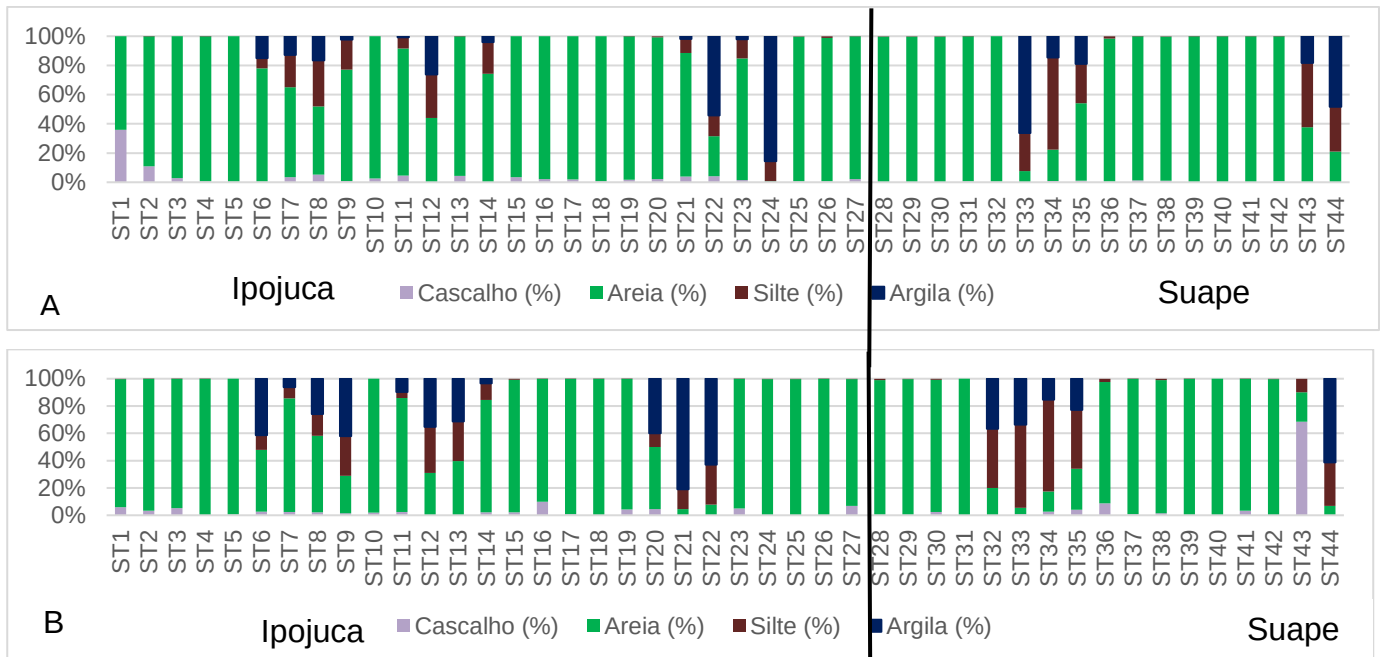
baía de Ipojuca registra a predominância de sedimentos com granulação areia fina, pobremente selecionados.

Em relação as frações granulométricas, a distribuição das porcentagens de cascalho apresentou a menor contribuição entre o n amostral em ambos os estuários, registrando médias entrano de 3%. Contudo, as maiores porcentagens foram registradas durante o período chuvoso para o estuário do Ipojuca, com destaque para a ST01 com 36%, situada no médio estuário do Rio Ipojuca, e no estuário de Suape no período seco com destaque para a ST43 com 68,5%.

A fração areia foi predominante em ambos os estuários, apresentando média de 79,5% no período chuvoso e 70% no período seco. Por fim, a fração lamosa (silte e argila) registrou médias de aproximadamente 20,0% para todo o sistema, onde no período chuvoso apresentou média de 17,6% e no período seco de 23,0%. Foi observado o incremento nos percentuais de lama no verão nas áreas próximas ao canal dragado na porção interna do estuário de Suape na plataforma continental interna, com destaque para as estações 33, 34, 35, 32 e 44 (Figura 4). No estuário do rio Ipojuca, foi observado que o aumento de lamas também ocorre no período seco com destaque para as estações 12 e 13 localizadas na baía de Ipojuca e 5, 6, 8 e 9 para o rio Merepe (Gráfico 1).

Em relação à classificação de Shepard (1954), o sistema estuarino lagunar apresentou treze classes texturais. As areias são predominantes nos dois períodos climáticos. As fácies texturais com predomínio de siltes e argilas estão localizadas principalmente no canal interno do Porto nas estações 33, 34 e 35, no alto rio Ipojuca na estação 22 e na área abrigada do quebra-mar no porto externo na estação 44 (Figura 3). Quanto à classificação de Pejrup (1988), as duas baías-estuarinas apresentam fácies texturais indicativas de ambientes de moderada a alta hidrodinâmica, inclusive na estação 35 localizada no canal de dragagem do porto, área de alta profundidade e predomínio de sedimento lamoso, o mesmo para as estações 22 e 24 do estuário do rio Ipojuca, onde há a predominância de sedimentos de granulação fina.

Gráfico 1: Composição dos sedimentos de acordo com os percentuais das frações de cascalho, areia, silte e argila. A) período chuvoso. B) período seco. As estações 1 a 26 representam as amostras do estuário do Ipojuca, enquanto as STs de 27 a 44 são localizadas no estuário de Suape.

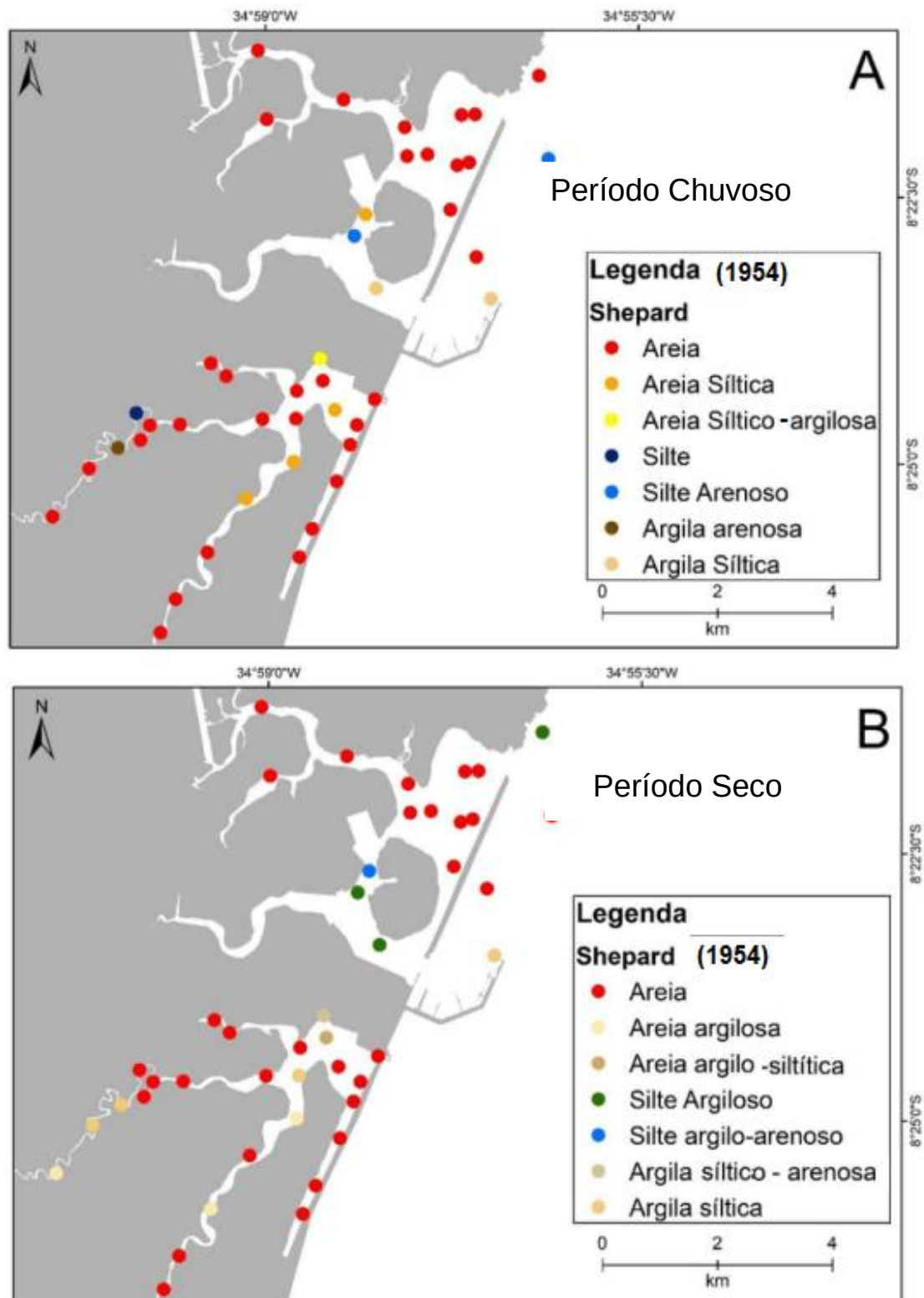


Fonte: Autor (2022)

De acordo com a classificação de Larssouner et al. (1982), os sedimentos do sistema estuarino lagunar foram classificados em litoclásticos e litobioclásticos, registrados em 78% e 22% das amostras, respectivamente. Os maiores valores de CaCO_3 estão localizados na Baía de Ipojuca, adjacente à plataforma interna (Laguna de Muro Alto), plataforma continental e no canal interno do porto. Em relação à sazonalidade, os conteúdos carbonáticos tendem a aumentar na estação seca (Figura 4).

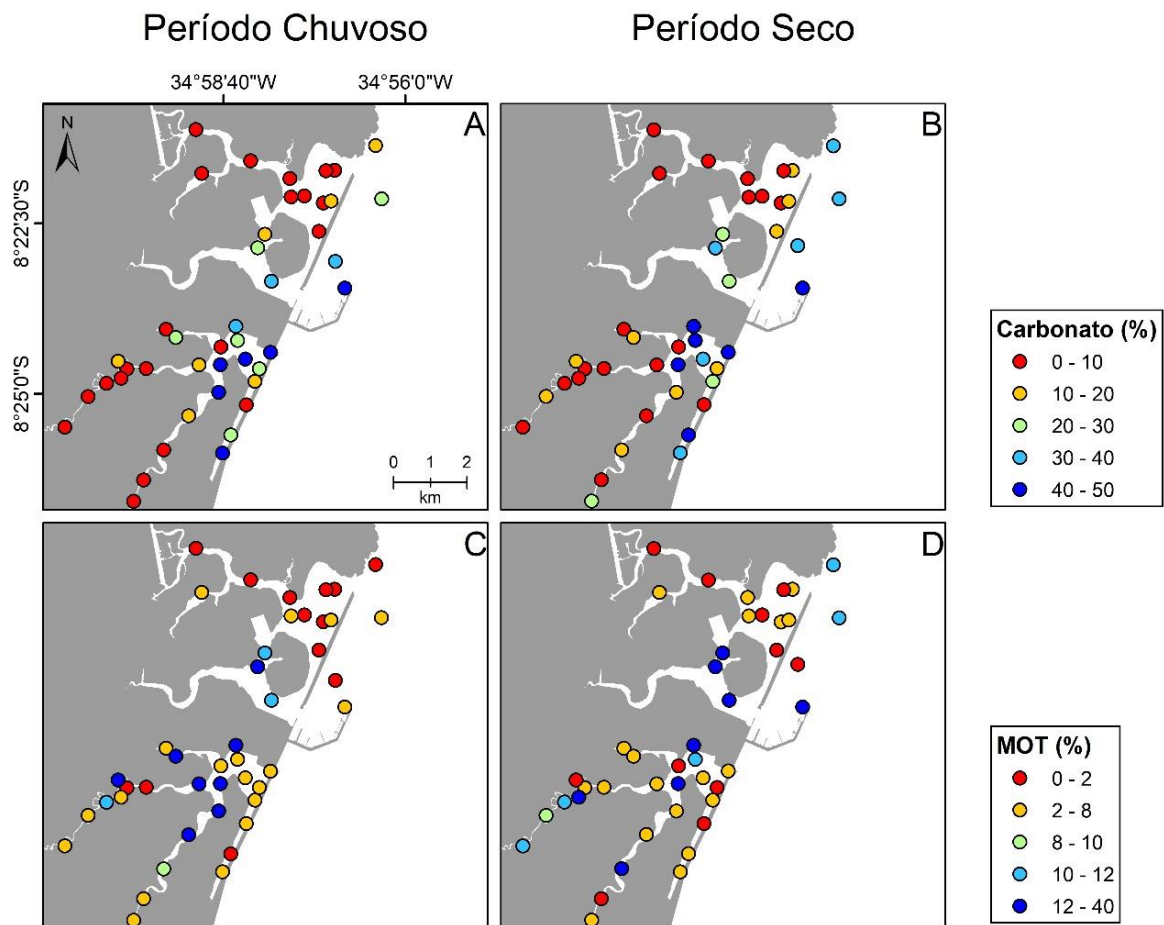
A matéria orgânica total (MOT) variou de 0,4 a 39,6%, com média de 6,8%. Do total amostrado, 27% das amostras apresentaram teores acima de 10,0%, onde o maior valor de MOT está situado no canal interno dragado na baía de Suape, estação 35, com 40% no período seco e para o estuário do Ipojuca foi registrado teores de 22,8% de MOT na estação 24 no período chuvoso.

Figura 3: Distribuição das fácies texturais de acordo com Shepard (1954) para o sistema estuarino-lagunar de Ipojuca/Massangana- Suape para o inverno (A) e Verão (B).



Fonte: Autor (2022)

Figura 4: Mapa de distribuição dos parâmetros sedimentológicos no estuário de Suape-Ipojuca: no CIPS: diâmetro médio (Folk & Ward, 1957) (A e B), MOT (C e D) e CaCO₃ (E e F).



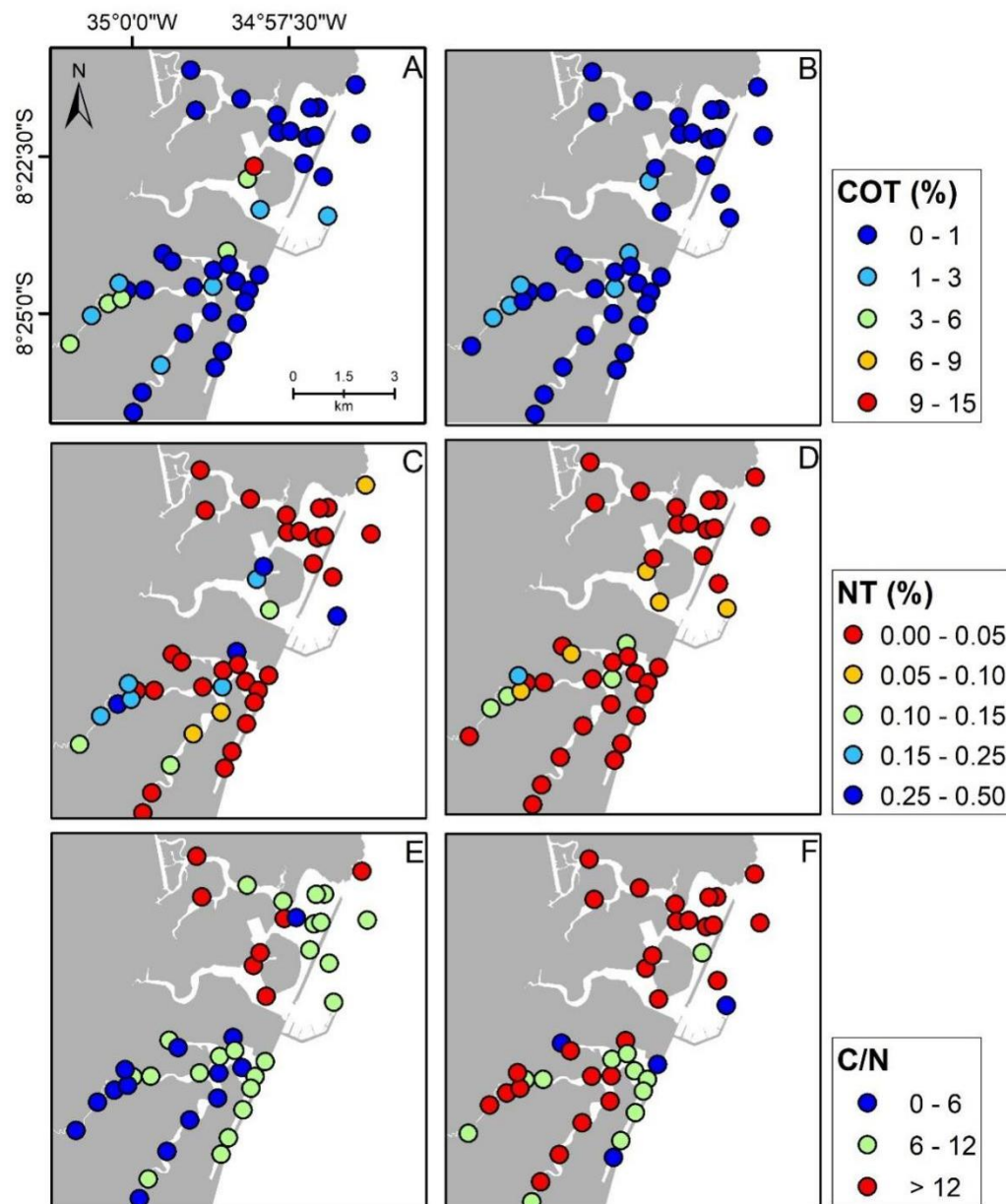
Fonte: Autor (2022)

Na Baía de Ipojuca, os teores mais altos de MOT são observados na estação chuvosa, enquanto na Baía de Suape, os níveis mais altos são observados na estação seca (Figura 4). Desta forma, é possível caracterizar o comportamento dos dois estuários separadamente. No Ipojuca não é observada variação sazonal nos teores de carbonato e de matéria orgânica, apenas um acúmulo sensível de MOT nas estações localizadas no médio Ipojuca e no baixo Merepe, com enriquecimento relativo deste parâmetro no período chuvoso (Figuras 5C e D). No caso do sistema estuarino de Suape, por sua vez, ocorre uma variação sazonal muito marcante indicada pela MOT nas estações adjacentes ao porto interno (ST33, ST34 e ST35) e na plataforma interna (ST43 e ST44).

Os teores médios de carbono orgânico total (COT) foram inferiores a 5% para a área estudada, exceto a estação 35, localizada no canal interno do estuário de

Suaape, que apresentou de 14,7%. No estuário do rio Ipojuca é possível observar uma tendência decrescente do conteúdo de carbono orgânico no período seco, com exceção das amostras ST06, ST20, ST21, ST23, localizadas no estuário superior e médio do Ipojuca, que se comportam inversamente (Figura 5). Já no estuário de Suaape, é possível observar uma tendência crescente do conteúdo orgânico no período seco, principalmente nas amostras adjacentes ao porto interno (ST 34 e 35). Em relação à sazonalidade, observou-se um incremento significativo para ST 35 que registrou valor de 0,92% durante o período chuvoso, em relação aos 14,7% de COT no período seco.

Figura 5: Mapa de distribuição dos parâmetros geoquímicos: COT (A e B), NT (C e D) e C/N (E e F)



Fonte: Autor (2022)

As concentrações de nitrogênio total nos sedimentos variaram, para o período chuvoso, de 0,01 a 0,35%, com média de 0,06% e para o período seco de 0,01 a 0,47%, com média de 0,10%. A distribuição foi semelhante à distribuição do COT em ambos os estuários (figura 5). Assim como o COT, a ST35 apresentou um aumento nos teores para o período seco, de 0,05% (para o período chuvoso) para 0,47% (para o período seco) (Figuras C e D).

A razão C/N apresentou uma ampla faixa de 5 a 42 caracterizando a matéria orgânica predominantemente de origem continental no período chuvoso e mista no período seco. No geral, a baía de Ipojuca é caracterizada por matéria orgânica de origem marinha. Já os estuários de Ipojuca e Merepe apresentam matéria orgânica de origem continental, no período chuvoso; e continental e mista, no período seco. Para a região de Suape, no período chuvoso ocorre a predominância de matéria orgânica de origem continental, e para o período seco é possível observar uma influência marinha marcante na caracterização da origem da matéria orgânica, em especial na baía de Suape (Figuras 5E e F).

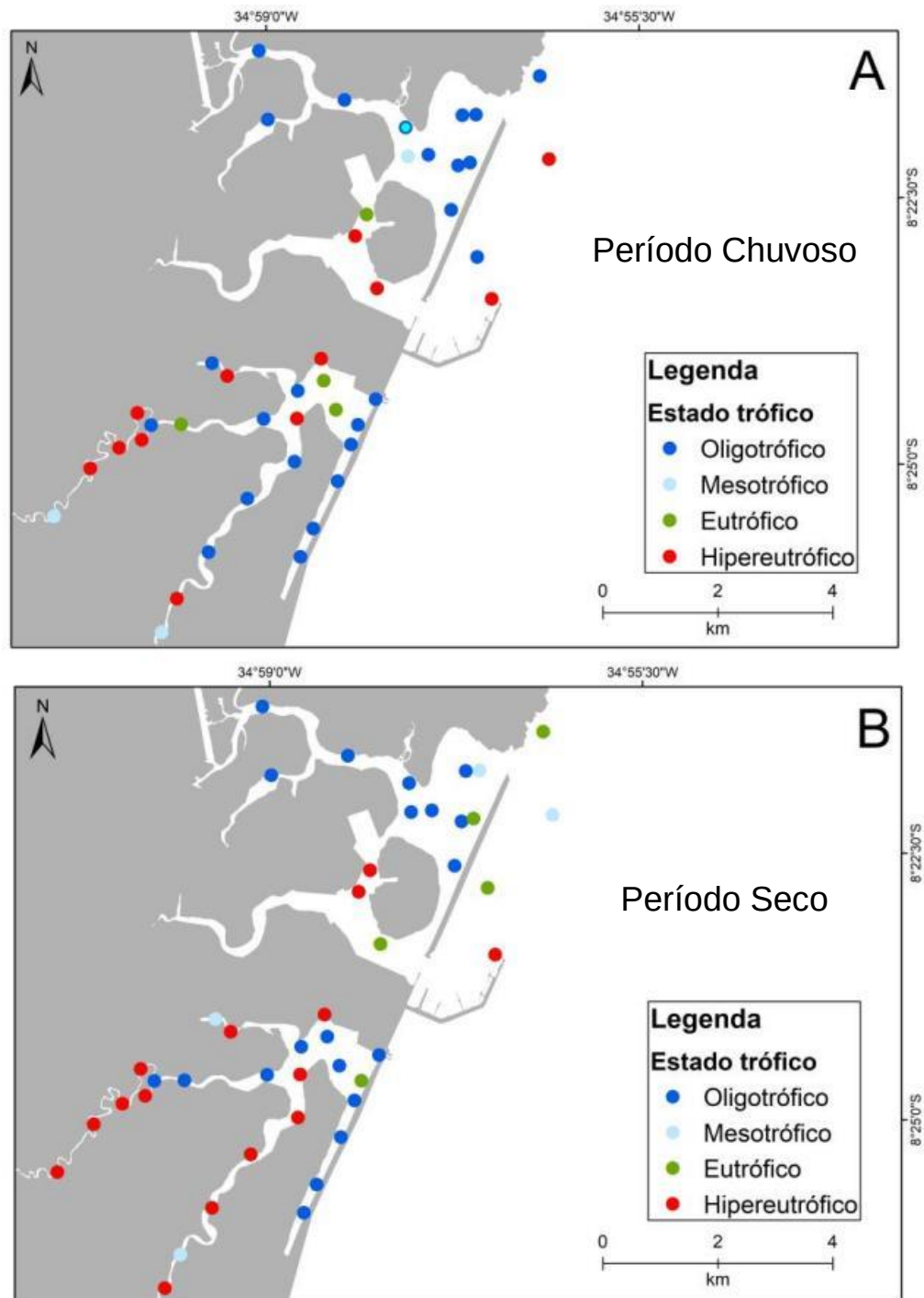
Os resultados dos índices BPN, permitiram classificar o estuário de Suape em oligotrófico em 51% das amostras, hipereutrófico com 31%, mesotrófico e eutrófico com 9% cada. Para o estuário do rio Ipojuca foi classificado em oligotrófico em 40,1% das amostras, hipereutrófico com 38,5%, eutrófico com 7,7% e mesotrófico com 5,8%. Assim como nos resultados de MOT, COT e NT, foram observadas variações sazonais nas condições tróficas do sistema, com um ligeiro aumento nas porcentagens de amostras classificadas como hipereutróficas, passando de 27% para 34%, principalmente no estuário do Rio Ipojuca e Merepe (Figura 6).

A razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ variou de -28 a -16‰ PDB (Figura 8). Os menores valores da razão $\delta^{13}\text{C}$ (< -26 ‰ PDB) foram encontrados principalmente no estuário do rio Ipojuca nas estações 5, 20 e 25 (no alto Ipojuca e Merepe). Em Suape, o menor valor da razão isotópica de carbono foi registrado apenas na ST35 (canal interno dragado). Em relação à sazonalidade, o estuário do rio Ipojuca apresentou um enriquecimento nos valores da razão $\delta^{13}\text{C}$ nas estações 20 e 21, no alto Ipojuca, e na ST9 localizada na confluência do rio Ipojuca e Merepe, indicando características mais marinhas.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de -1,1 a 8,0 ‰ Ar. A região do estuário de Suape registrou um aumento de duas vezes nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ para as amostras nas estações 27, 28, 29, 30 e 31 no período seco quando comparadas ao período

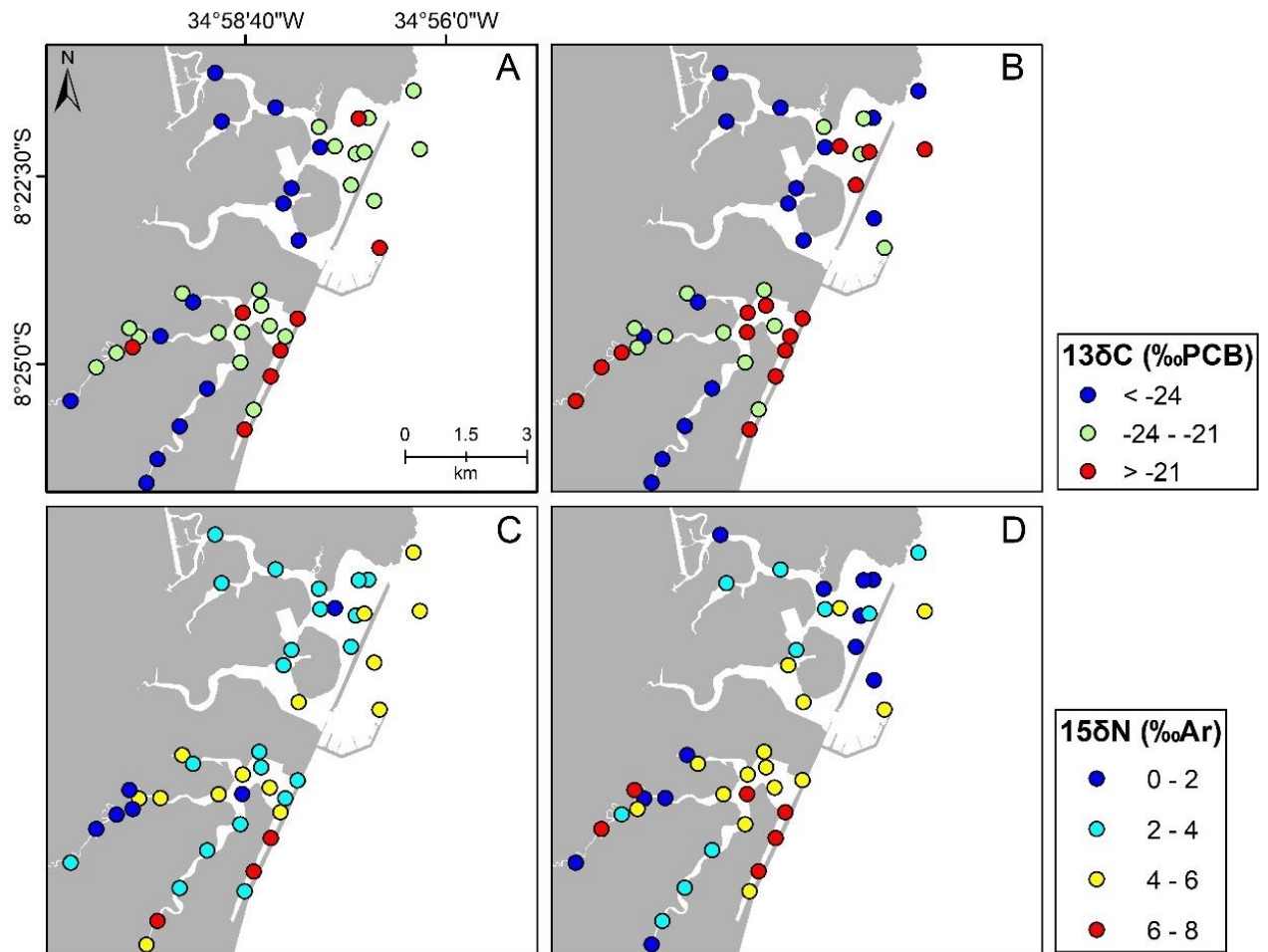
chuvoso. Já o estuário do Ipojuca apresentou um padrão bem-marcado com aumento significativo nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ em direção à baía do Ipojuca, principalmente no período chuvoso (figura 7C e D).

Figura 6: Mapa de classificação do índice BPN dos sedimentos do sistema estuarino-lagunar do rio Ipojuca/Massangana- Suape para o Inverno (A) e Verão (B)



Fonte: Autor (2022).

Figura 7: Mapa de distribuição das razões isotópicas estáveis: $\delta^{13}\text{C}$ (A e B) e $\delta^{15}\text{N}$ (C e D).

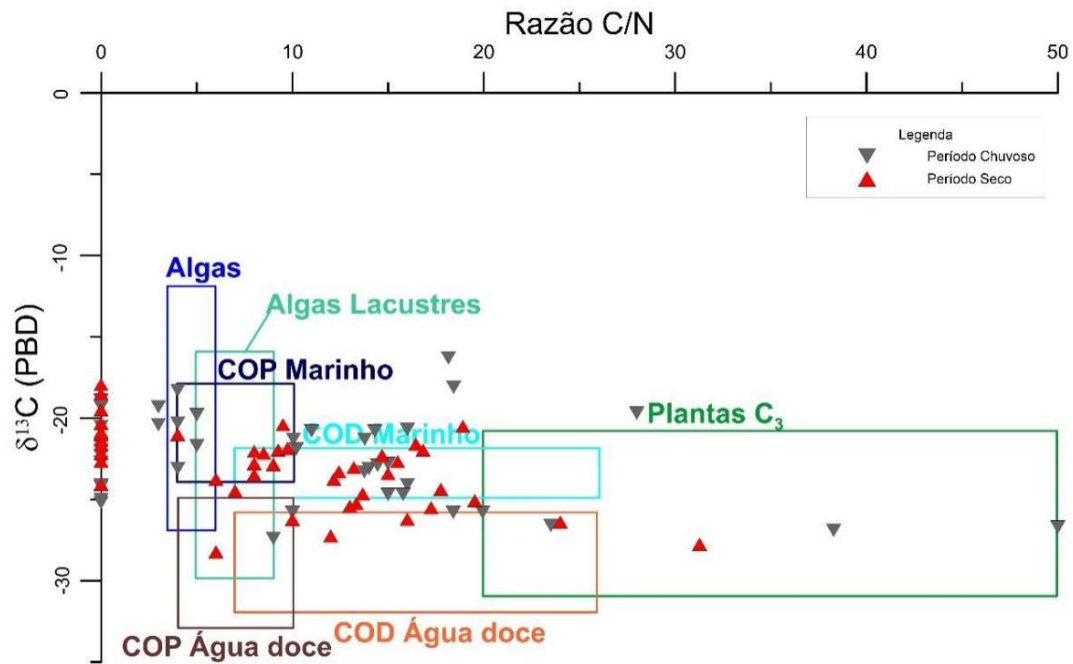


Fonte: Autor (2022)

No geral, os dados das razões isotópicas indicam que a origem da matéria orgânica em todo o sistema estudado é de origem mista, derivadas de plantas superiores C3, algas fitoplanctônicas de água doce e marinhas, carbono orgânico dissolvido marinho e de água doce, e carbono orgânico particulado de origem marinha e continental, de acordo com Boutton (1991) e Meyers (2003) (Figura 8). Em relação às razões isotópicas de nitrogênio e carbono, a origem da matéria orgânica foi classificada em diatomáceas bentônicas, fitoplâncton estuarino-marinho e florestas terrestres C3 (Figura 9).

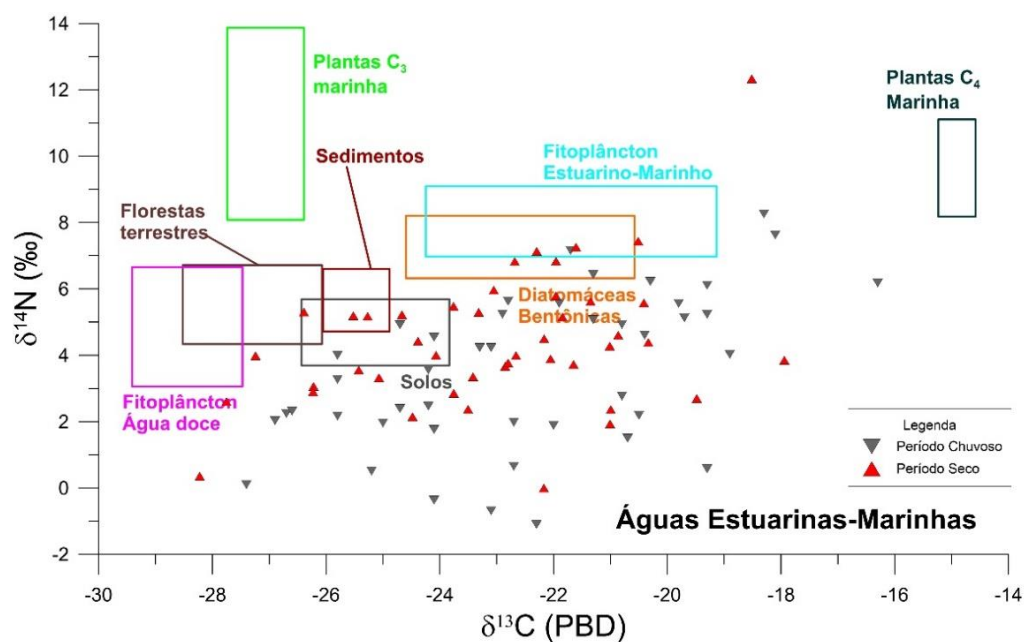
Por fim, a relação de Pearson entre os parâmetros analisados demonstrou correlações significativas $r^2 = 0,92$ entre COT% e NT% que é indicativa de MOS de origem comum e moderadas positivas entre a MOT, lama (%), COT e NT, com valores de r^2 variando de 0,58 a 0,92.

Figura 8: Razão entre as concentrações de isótopos de carbono e os valores da razão carbono-nitrogênio e a classificação de acordo como Boutton (1991) e Meyers (2003) para os sedimentos do sistema estuarino lagunar



Fonte: Autor (2022).

Figura 9: Classificação da origem da matéria orgânica de baseado na razão isotópica de nitrogênio e carbono segundo a metodologia de Cloern et al. (2002) e Ogrinc et al. (2005) para o sistema estuarino lagunar.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 2: Correlação de Pearson realizada em todo o conjunto amostral.

	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	MOT (%)	CaCO ₃ (%)	COT (%)	NT (%)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Fonte: Autor (2022).
Cascalho (%)										
Areia (%)	-0,15									
Lama (%)	-0,11	-0,97								
MOT (%)	0,02	-0,71	0,71							
CaCO ₃ (%)	0,04	-0,42	0,41	0,37						
COT (%)	-0,05	-0,56	0,58	0,82	0,19					
NT (%)	-0,07	-0,70	0,72	0,82	0,28	0,92				
$\delta^{13}\text{C}$	0,00	0,11	-0,11	-0,22	0,23	-0,15	-0,04			
$\delta^{15}\text{N}$	-0,06	-0,35	0,37	0,30	0,43	0,28	0,42	0,37		

4 DISCUSSÃO

Os sedimentos superficiais da região do sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana-Suape são em sua maioria arenosos em 75% das amostras e litoclásticos (LARSSONEUR et al., 1982) para os dois períodos analisados (CaCO₃ <30%). Esses resultados corroboram com os estudos de Neumann et al. (1998), Santos et al. (2019), Vasconcellos (2019), Veiga et al. (2021), Oliveira et al. (2019), Maciel et al. (2018), Barros et al. (2011), Barcellos et al. (2018). Veiga et al. (2021) acrescentam que as amostras arenosas de granulação fina e média são compostas principalmente por grãos de quartzo, registrando por vezes fragmentos de rocha e em algumas áreas apresentam grande quantidade de partículas de vegetais, o que são indicativos do aporte de material terrígeno oriundo do mangue e Mata Atlântica adjacente ao sistema.

A distribuição de cascalho apresenta menor contribuição no sistema, sendo mais elevada em Ipojuca, com destaque para o baixo estuário, no período chuvoso. Esse aumento na fração cascalho é devido ao incremento nos índices pluviômetros, aumentando o volume da descarga fluvial e consequentemente na energia hidrodinâmica dentro dos sistemas estuarinos. Essa interação entre a vazão dos rios e os períodos sazonais foram observados por Schettini et al. (2016) e Pardal et al. (2019) para o sistema estuarino do rio Capibaribe.

Para Barros et al. (2011), as maiores concentrações de sedimentos arenosos decorrem de influências terrígenas derivadas das áreas fontes próximas. A presença predominante de areias médias é devido à maior concentração dessa classe no estuário de Suape. Provavelmente essa classe granulométrica pode ser oriunda de

aportes terrígenos derivados diretamente do intemperismo de rochas ígneas e vulcânicas do Cabo de Santo Agostinho (LIMA FILHO et al., 2006). Além disso, a baixa competência do rio Massangana e a morfologia de laguna costeira são favoráveis para a sedimentação dessa classe de granulação de areia média refletindo um gradiente decrescente de areias grossas a finas para dentro do estuário. Já o estuário do rio Ipojuca é caracterizado pela predominância de sedimentos de granulação areia fina, bem como observado por Neumann et al. (1998) e Santos et al. (2019).

De um modo geral, os resultados demonstraram que as fácies sedimentares estão dispostas segundo a hidrodinâmica, a profundidade local e a geologia. Na baía de Suape, há o predomínio de sedimentos com fácies arenosa decorrente da combinação desses três fatores, além da proximidade com o promontório do Cabo que funciona como uma fonte de aporte de sedimentos terrígenos (BARROS et al., 2011; BARCELLOS et al., 2018).

A região estuarina-lagunar de Ipojuca, apresenta uma heterogeneidade sedimentar em termos espaciais maior que na baía de Suape. Morfologicamente, a área é subdividida em 4 compartimentos: laguna de Muro Alto, baía de Ipojuca, e os estuários dos rios Ipojuca e Merepe. Essa variabilidade em termos de ambientes sedimentares costeiros, aliada à baixa hidrodinâmica são resultantes das alterações, principalmente na morfologia de fundo da baía do Ipojuca e a batimetria rasa, e marcam a sua distribuição sedimentar (LINS & MEDEIROS, 2018).

A laguna de Muro Alto é caracterizada por sedimentos arenosos litoclásticos provavelmente oriundos dos aportes da faixa de praia e dos beachrocks. A baía de Ipojuca, os sedimentos arenosos estão associados à presença de um banco de intermarés arenoso e os sedimentos mais finos ocorrem ao norte desse banco, pontos de maior profundidade dentro do estuário referente ao canal original do rio antes da construção do porto, corroborando com os estudos de Neumann et al., (1998). De um modo geral, a região estuarino-lagunar de Ipojuca possui uma maior presença de sedimentos finos, provavelmente relacionada ao aporte perene via estuário do Rio Ipojuca, mais evidente no período seco com a diminuição da hidrodinâmica no sistema (Lins e Medeiros, 2018).

Sedimentos arenosos mais finos refletem a própria natureza dos sedimentos palimpsestos que compõem, em sua maioria, a planície costeira e plataforma continental interna de PE (McMANUS, 1975; BARCELLOS et al., 2020; MANSO et

al., 2018). É possível observar que as porcentagens de fração areia tendem aumentar com a passagem para o período seco, contudo não apresentam variações tão significativas.

Oliveira (2014) e Pardal et al., (2019) observaram que em períodos chuvosos o estuário do rio Capibaribe registra um comportamento de sedimentação de granulação mais fina. Esses autores associam este comportamento como reflexo dos altos índices pluviométricos que intensificam a carga hídrica do rio, aumentando a energia hidrodinâmica no sistema e assim, lixiviando os compartimentos sedimentares presentes aos arredores do canal fluvial e estuarino, incrementando na concentração de sedimentos finos.

Esse processo deposicional de finos é observado no inverno de 2016, podendo ser decorrente do forte El-Niño de 2015-16 (APAC, 2019), que teria influenciado nos índices pluviométricos. Segundo a APAC (2019), os meses de junho (100,60 mm), julho (100,40 mm), agosto (30,80 mm) e setembro (57,20mm) de 2016 registraram índices que marcaram um dos invernos mais secos da década de 2010. Estes baixos índices pluviais se estendem até a campanha de verão em março de 2017 (março), com o índice somatório de 79,4mm entre outubro/16 e fevereiro/17. Com isso, os baixos índices pluviométricos influenciaram negativamente na descarga fluvial para todo o sistema Ipojuca-Suape, intensificando o aumento da influência marinha para o sistema estuarino, refletida pelo aumento nos teores de CaCO_3 no período seco, principalmente para Suape, bem como de lamas no inverno para o estuário do Ipojuca.

No geral, os teores de CaCO_3 aumentam com a passagem para o período seco corroborando com estudos na região de Oliveira et al. (2019), Vasconcelos (2019) e Santos et al. (2019), uma vez que o aumento da temperatura contribui para o processo de precipitação dos carbonatos (GUNTER et al., 2004). Os teores de CaCO_3 indicam que os sedimentos são majoritariamente classificados, segundo Lassoneur et al., (1982) em litoclásticos, uma vez que a influência fluvial dos estuários favorece maior aporte terrígeno na composição dessas amostras, além de inibir a precipitação do CaCO_3 , como verificados pelas fracas correlações positivas com a MOT ($r^2 = 0,37$) (PARAOPKARI, et al., 1991). Algumas estações foram classificadas como litobioclásticas, essas estão sujeitas a uma maior contribuição marinha na sedimentação local, devido às suas localizações no sistema, adjacentes ao mar aberto.

As modificações antrópicas realizadas com a construção do Porto de Suape afetaram drasticamente sua morfologia de fundo do sistema estuarino, influenciando na sedimentação recente (NEUMANN et al., 1998; BARCELLOS et al., 2018). O estuário do rio Ipojuca passou a ser um estuário artificialmente confinado pela linha externa de beachrocks, dessa forma a dinâmica de maré passou a atuar atenuada, onde a maré vazante registra um período de 8 horas em um ciclo semi-diurno (LINS & MEDEIROS, 2018). Dessa forma, a região da baía de Ipojuca não recebe uma influência marinha de grande magnitude quando comparada com o estuário de Suape que está perenemente conectado ao oceano (VEIGA et al, 2021).

A matéria orgânica sedimentar registou um comportamento diferente entre os períodos chuvoso e seco, bem como a sua distribuição espacial para o sistema estuarino de Suape, os teores de MOT tendem a aumentar na passagem para o período seco. Os valores de MOT acima de 10% nesta região estão associados a sedimentos lamosos ($r^2=0,71$), principalmente na área do canal interno dragado, corroborando com os resultados obtidos por Marques et al. (2011), Oliveira et al. (2017) e Vasconcelos (2019). Oliveira et al. (2021) e Passos et al. (2021), em estudos sobre a evolução do baixo estuário do Massangana, observaram um enriquecimento relativo de matéria orgânica (C e N) nos últimos 60 anos, provavelmente associados ao crescimento populacional e pressão urbano-industrial na região. Essa matéria orgânica é indicativa de origem continental atribuída à vegetação de mangue e ao aporte local de esgotos não tratados (PASSOS et al., 2021). Para Chagas (2003), estas altas concentrações de matéria orgânica podem ser reflexo das atividades locais relacionadas a área portuária como descargas de esgoto não tratado.

A faixa de concentração de MOT do presente estudo em relação à observada por outros estudos realizados nos estuários pernambucanos mostra que o sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana-Suape apresenta algumas áreas com concentrações de MOT superiores aos demais estuários (Tabela 3), inclusive se comparado com o estuário do Rio Capibaribe, um estuário altamente antropizado e impactado (PARDAL et al., 2019).

No sistema Ipojuca-Merepe, os maiores valores de MOS estão localizados no alto estuário, nos meandros do rio. Segundo Lins e Medeiros (2018), as condições físico-químicas dos meandros apresentaram profundidades menores que 2 metros, acúmulo de material lamoso e forte influência fluvial são fatores que favorecem a

preservação da matéria orgânica nesse trecho do rio, indicada pelos altos valores da razão C/N. Além disso, os maiores teores orgânicos de origem continental devem estar associados a ecossistemas de manguezais que garantem contribuição significativa e perene de matéria orgânica sedimentar. Miranda (2019), em estudos no rio Merepe, identificou condições de anoxia e elevadas quantidades de nutrientes, corroborando com as características desses meandros para a preservação do conteúdo orgânico no sedimento e para as condições hipertróficas nessas áreas observadas nas figuras 6A e B.

A bacia do Ipojuca apresenta um aporte misto de matéria orgânica sedimentar, isso pode ser decorrente dos efeitos de mistura das descargas do rio Ipojuca e canais estuarinos na baía, que influem na circulação e na distribuição da matéria orgânica e dos processos oxidativos, formando diferentes gradientes de acordo com a dinâmica interna estuarina e a intensidade dos fluxos de maré (MARONE et al., 1995; LINS & MEDEIROS, 2018; OLIVEIRA et al., 2019; PARDAL et al., 2019).

Assim como a correlação entre a MOS e os teores de lama, é moderada ($r^2=0,58$) a correlação entre os valores de COT e os sedimentos lamosos.

Os teores de COT para o sistema estuarino lagunar foram menores que 5%. Quando comparados com outros estudos realizados no litoral de Pernambucano, como por exemplo os resultados obtidos por Oliveira & Barcellos (2014), Oliveira et al. (2014), Maciel et al. (2015); Barcellos et al. (2016), Barcellos et al. (2016), Santos & Barcellos (2017) e Pardal et al. (2019), é possível observar que os conteúdos médios de COT de Suape são maiores em comparação aos pequenos estuários do litoral norte (Goiana e Itapessoca) e menores do que aqueles localizados em regiões mais urbanizadas (Capibaribe e Baía do Pina) e áreas de proteção ambiental (Rio Formoso) (Tabela 3).

Apesar das alterações ambientais ocorridas em Suape, os níveis de COT são em geral baixos, de acordo com Romankevich (2013), em geral menores que 2%, o que está bem abaixo dos valores de alerta da resolução do CONAMA. A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 454/12 estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos de referência para o gerenciamento do material a ser dragado nas águas sob jurisdição nacional. De acordo com esta resolução, valores de TOC acima de 10% podem causar danos ao meio-ambiente, acarretando condições anóxicas e potencialmente prejudiciais ao ambiente estuarino,

principalmente apela grande afinidade do carbono orgânico com compostos químicos tóxicos.

Tabela 3: As concentrações de MOS (MOT, COT, NT), $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para sedimentos costeiros coletados nos estuários Pernambucanos.

Referência	Estuários	MOT (%)		COT (%)		NT (%)		$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PCB)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰ Ar)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Barcellos et al. (2016)	Goiana (2012)	0,7	9,3	0,0	2,3	0,0	0,2	-26	-21	0,0	0,2
Oliveira & Barcellos (2014)	Itapessoca (2011)	3,0	5,4	0,2	0,6	0,0	0,0	-23	-19	2,4	3,9
Oliveira et al. (2014)	Capibaribe (2012)	1,2	15,2	0,2	9,0	0,0	1,0	-22	26	-1,0	6,1
Pardal et al. (2019)	Capibaribe (2010)	1,5	22,0	1,0	8,6	0,0	1,0	-25	-21	0,0	6,6
Pardal et al. (2019)	Capibaribe (2011)	0,3	37,5	0,1	4,9	0,0	0,5	-25	-20	0,6	7,9
Barcellos et al. (2016)	Jaboatão (2010)	-	-	0,1	7,1	0,0	0,5	-28	-20	4,1	6,8
Barcellos et al. (2016)	Jaboatão (2011)	-	-	0,0	8,5	0,0	0,5	-28	-19	4,6	7,5
Presente Estudo (2016)	Suape (2016)	1,0	23,0	0,0	5,0	0,0	0,4	-27	-16	-1,1	8,0
Presente Estudo (2017)	Suape (2017)	0,4	39,6	0,02	15	0	0,5	-28	-18	0,4	7,0

Fonte: Autor (2022).

De maneira análoga ao COT, o NT nos períodos chuvoso e seco estão diretamente relacionados à textura dos sedimentos, principalmente aos de textura lamosa ($r^2=0,58$ e $r^2= 0,72$, respectivamente), assim como observado por Barcellos et al. (2016b) no estuário do rio Jaboatão e por Oliveira et al. (2014) no estuário do Rio Capibaribe. Esses parâmetros apresentaram uma distribuição geográfica bem definida, principalmente na região do estuário de Ipojuca, prevalecendo os maiores teores nas porções internas do estuário e diminuindo gradualmente em direção à plataforma, conforme observado por Barcellos et al., (2016a), Barcellos et al. (2014) e Barcellos et al. (2016b), para os estuários do Rio Goiana, Baía de todos os Santos (BA) e Estuário do Rio Jaboatão, respectivamente.

No presente estudo, ocorrem variações espaço-temporais nos valores das razões C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nos sedimentos. Os rios Ipojuca e Massangana-Suape têm uma tendência decrescente no sentido da plataforma com relação aos valores de C/N (figuras 7A a D), indicativos do aumento da influência marinha na sedimentação. Isso é atribuído principalmente pela diminuição da deposição da MOT

terrígena e aumento do aporte de matéria orgânica marinha, observados principalmente no período seco (VASCONCELLOS, 2019; OLIVEIRA et al., 2014, HU et al., 2016; PARDAL et al., 2019).

Em relação aos valores de $\delta^{15}\text{N}$, os valores acima de 8‰ Ar registrados na porção interna do porto e na zona estuarina de Suape podem estar ligados a impactos antrópicos, conforme observado por Constanzo et al. (2005) e Conrad et al. (2017). Esse enriquecimento na razão isotópica $\delta^{15}\text{N}$ estaria associado à proliferação bacteriana em condições eutróficas a hipertórficas, observadas em ambos os períodos confirmados pelos índices BPN.

5 CONCLUSÃO

O sistema estuarino lagunar apresentou sedimentos são litoclásticos arenosos, com baixos conteúdos de MOT de origem predominantemente continental e mista condicionados pelas entradas distintas de materiais às quais cada subambiente está submetido.

A influência da sazonalidade no sistema estuarino de Ipojuca foi mais marcada e acentuada na região do estuário superior e médio, principalmente pelo conteúdo orgânico. Porém, há um aumento nos teores de CaCO_3 e uma diminuição no conteúdo orgânicos na estação seca, devido os baixos índices pluviométricos reduzindo a contribuição do fluxo continental, favorecendo a sedimentação marinha. Essa influência marinha foi observada na laguna de Muro Alto e na baía de Ipojuca, perto da foz do estuário e continental nos estuários superior e médio de Ipojuca e Merepe. No caso do estuário de Suape, a influência da sazonalidade é sentida principalmente nas amostras na área do baixo estuário, no canal interno dragado, e na região do bota fora na plataforma continental adjacente.

Independente da influência sazonal, a Baía de Suape apresentou uma distribuição espacial marcada por áreas preferenciais de deposição: 1) lamas terrígenas com altos conteúdos de MOT e CaCO_3 no canal de acesso ao porto interno; 2) amostras essencialmente litoclásticas e com baixos teores de MOT na baía de Suape e no estuário do Massangana; e 3) amostras mais enriquecidas de CaCO_3 na plataforma interna. A área estuarino-lagunar de Ipojuca apresentou heterogeneidade sedimentar.

Apesar dos altos valores de MOT quando comparados a outros estuários pernambucanos, os níveis de COT registrados foram abaixo do valor de alerta da

resolução do CONAMA. No entanto, o estado trófico do sistema indica que o sistema estuarino, na região do estuário do Ipojuca e canal interno do Porto, vem intensificando os processos de eutrofização, sendo mais acentuada principalmente na estação seca, com acréscimo de estações hipertróficas neste período.

A área do canal dragado do porto interno vem passando por um grande estresse ambiental, tais como impactos por hidrocarbonetos aromáticos de petróleo (HPAs) associados às atividades do porto e estaleiro, enriquecimento de metais (V, Ga, Pb e Zn) e a poluição orgânica por óleo oriunda da circulação de navios e geração de resíduos liberados pelas atividades dos estaleiros. E isso se reflete no acúmulo diferencial de MOS no local, o maior de todo o sistema.

Devido a esse conjunto de fatores, a compreensão da dinâmica sedimentar e da matéria orgânica em um estuário que recebe fortes cargas de efluentes provenientes da ação antrópica é fundamental para monitorar os níveis de poluição nesse sistema estuarino-lagunar. Além disso, os autores sugerem o estudo dos parâmetros sedimentológicos em colunas sedimentares recentes com o intuito de comprovar que as mudanças estruturais morfológicas de origem humana ocorridas no sistema foram capazes de provocar essas diferenças espaço-temporais nos processos sedimentares, entre os dois estuários.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FACEPE pelo suporte financeiro do projeto “Sedimentação holocênica na região do complexo industrial de Suape (Suape-GeoSub)” – APQ - 0260/1.08-15.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. T., FREDOU, T., BARCELLOS, R. L., MELO, J. T., ARRUDA, G. N., & DE FRANÇA, E. J. 2022. **Anthropogenic influences on sedimentary geochemistry of Itapessoca Estuarine Complex, Pernambuco, Brazil.** *Environmental monitoring and assessment*, 194(1), 1-18.
- ALMEIDA, P. F. C. F. DE, BARBOSA, L. R., CUNHA, T. S. DA, BERNARDES, M. C., VIDAL, L. DE O., & ROLAND, F. 2015. **Composição da Matéria Orgânica em Sedimentos do Reservatório do Funil – Resende, RJ, Brasil.** *Geochimica Brasiliensis*, 28(2), 201. <https://doi.org/10.21715>
- APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. 2019. **Bacias Hidrográficas: Bacia do Rio Ipojuca.** Disponível em:

http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17. Acessado em: 1 mai 2021

BARCELLOS, R.L. & FURTADO, V.V. 2006. **Organic Matter Contents and Modern Sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, South-Eastern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, 39, 1073-1077.

BARCELLOS, R. L.; BRAGA, ELISABETE S.; FURTADO, VALDENIR, V. BERBEL, G. B. B. 2014. **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. 1451-1467. <https://doi.org/10.4236/ijg.2014.512119>

BARCELLOS, R. L, et al., 2016a. **Geoquímica e Dinâmica Sedimentar do Sistema Estuarino do Rio Goiana**. 1. ed. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Edições, 2016. v. 1. 89p

BARCELLOS ET AL, 2016B. **Modern sedimentary processes and seasonal variation of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil**, *Journal of Coastal Research*, v 75, p38-42. <https://doi.org/10.2112/SI75-008.1>

BARCELLOS, R.L., et al., 2018. **Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)**. *Parcerias Estratégicas*, Brasília-DF, v. 23, n. 46, p. 169-188.

BARCELLOS, R.L. & SANTOS, L. D., 2018. **Histórico de impactos ambientais e o estado da arte em Oceanografia no sistema estuarinolagunar de Suape-Ipojuca (PE)**. *Parcerias Estratégicas*, Brasília-DF, v. 23, n. 46, p. 155-168.

BARCELLOS, R. L., MELO, M.C.S.S.; SIAL, A. N. & MANSO, V. D. A. V. 2020. **Sedimentary Organic Matter Characterization on a Tropical Continental Shelf in Northeastern Brazil**. *International Journal of Geosciences*, 11(6), 393-419. <https://doi.org/10.4236/ijg.2020.116021>

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

BARROS, L.C., VALENÇA, L.M.M, SOUZA NETO, J.A., MADRUGA FILHO, J.D., COUTO JR., R. 2011. **Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região interna de Suape -PE**. *Revista de Geografia (Recife)*. Universidade Federal de Pernambuco *Revista de Geografia (Recife)*; Vol 27, No Especial 2 (Año 2010) 6-15.

BOMTEMPO, E. B., COUTINHO, R. Q., BARBOSA, J. A., B, R. L., GIACHETI, H. L. & RAMOS, H. L. 2022. **Temporal monitoring of contamination in three sandy beaches from the 2019 oil spill near cabo de santo agostinho, northeastern brazil**. *Academia Brasileira de Ciências* 94. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210513>

BORDOVSKY, O.K. 1965. **Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments.** *Marine Geology* 3 :3-114.

BOUILLON, S., RAMAN, A.V., DAUBY, P., DEHAIRS, F. 2002. **Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios of Subtidal Benthic Ecosystem (Andhra Pradesh, India).** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 901-913.
<https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0864>

BOUTTON, T.W., 1991. **Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments.** In: Coleman, D.C., Fry, B. (Eds.), *Carbon Isotopes Techniques*. Academic Press, Inc., San Diego, pp. 173 – 185.

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

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

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 454 de 01 de Novembro de 2012.** Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>

CONRAD, S. R., SANTOS, I. R., BROWN, D. R., SANDERS, L. M., VAN SANTEN, M. L., & SANDERS, C. J. (2017). **Mangrove sediments reveal records of development during the previous century (Coffs Creek estuary, Australia).** *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 441-445.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.052>

CONTI, L.A., MOTA, J.T. & BARCELLOS., R.L., 2020. **High -resolution optical remote sensing for coastal benthic mapping: A case of study of the Suape Estuarine-Bay, Pernambuco, Brazil.** *Ocean & Coastal management*: 193,
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105205>

COSTA, D.L; SANTOS, A.M; DA SILVA, A.F; PADILHA, R.M; NOGUEIRA, V.O; WANDERLEI, E.B; BELANGER, D.; GOMES, P.B EP ÉREZ, C.D, 2014. **Impactos biológicos do complexo portuário de Suape em comunidades recifais bentônicas (Pernambuco–Brasil).** *Jornal de Pesquisa Costeira*, 30(2), 362-370. Coconut Creek (Flórida), ISSN 0749-0208

COSTANZO, S. D., UDY, J., LONGSTAFF, B., & JONES, A. (2005). **Using nitrogen stable isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) of macroalgae to determine the effectiveness of sewage upgrades: changes in the extent of sewage plumes over four years in Moreton Bay, Australia.** *Marine Pollution Bulletin*, 51(1-4), 212-217.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.018>

CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE). 2003. **Diagnóstico Socioambiental do litoral sul de Pernambuco.** Recife: CPRH, 87p.

CRUZ, L.R. LIMA FILHO, M.F, NEUMANN, V.H.M.L., et al., 2003. **As unidades Siliciclásticas da sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica.** 2º congresso brasileiro de P&D em petróleo e gás.

DIAZ, R. J., & ROSENBERG, R. 2008. **Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems.** *Science*, v. 321(5891), p. 926-929.
<https://doi.org/10.1126/science.115640>

EMERSON, S., HEDGES, J.I., 1988. **Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments.** *Paleoceanography* 3, 621 – 634.

FABIN, C. E. G. S. DE O., ARRUDA, S. D. D' A., MANSO, V. DO A. V., LIMA, R. C. de A. L. **Balanço sedimentar da Baía de Suape (PE) entre os anos de 1994 e 2007: consequências ambientais.** *Anuário do Instituto de Geociências*. v. 43, n. 3.
https://doi.org/10.11137/2020_3_98_109

FERRARO, A. G. M.; CANTARINO, A. A. A. 2011. **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.**

FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957). **Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-27.
<https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>

FONTUGNE, M.R., JOUANNEAU, J.M., 1987. **Modulation of the particulate organic carbon flux to the ocean by a macrotidal estuary evidence from measurements of carbon isotopes in organic matter from the Gironde system.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 24, 377 – 387. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(87\)90057-6](https://doi.org/10.1016/0272-7714(87)90057-6)

FRAGA, T. F. C., CORDÃO, M. J. S., SOARES, T. F., MOTA, M. G. C. 2013. **Discussão sobre a diluição de efluentes industriais em corpos hídricos.** *Gestão de água: água, meio-ambiente e saúde*. p. 399.

FRY, B., SHERR, E.B., 1984. **D13C measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems.** *Contributions in Marine Science* 27, 13 – 47. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2_12

GUNTER, W.D., BACHU, S., BENSON, S.M. 2004. **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. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.233.01.0>

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

HU, G., BI, S., XU, G., ZHANG, Y., MEI, X., ANCHUN, L., 2015. **Distribution and assessment of heavy metals off the Changjiang River mouth and adjacent area during the past century and the relationship of the heavy metals with anthropogenic activity.** *Marine Pollution Bulletin*. 96, 434–440.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.009>

- KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. & MACÊDO, S.J. **Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (PE-Brasil).** *Acta Botanica Brasilica*, v. 16, n. 4, p. 407-420, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000400004>
- LAMB, A.L., WILSON, G.P. & LEING, M.J. 2006. **A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level.** *Earth Science Reviews*, 75: 29–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.003>
- LARSONNEUR, C., BOUYASSE, P., & AUFFRET, J.P. 1982. **The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches.** *Sedimentology*, 29(6): 851–864. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1982.tb00088.x>
- LIMA FILHO, M.F., BARBOSA, J., SOUZA, E.M. 2006. **Eventos Tectônicos e sedimentares nas bacias de Pernambuco e da Paraíba: implicações no quebramento do Gondwana e correlação com a bacia do rio Muni.** *Revista de geociências*, UNESP. v. 25, n. 01. 117-126.
- LINS, S. & MEDEIROS, C. 2018. **Propagação da Maré Salina em um Estuário Tropical Estrangulado, Ipojuca, NE-Brasil.** *Tropical Oceanography*, v.46, n 1 <https://doi.org/10.5914/tropocean.v46i1.237251>.
- LOTZE H.K. 2010. **Historical reconstruction of human-induced changes in U.S. estuaries.** In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, ed. RN GIBSON, RJA Atkinson, JDM Gordon, 48, p. 267–338. <https://doi.org/10.1201/EBK1439821169-c5>
- KOENING, M. L., ESKINAZI-LECA, E., NEUMANN-LEITÃO, S.E., AND MACEDO, S.J., 2002. **Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do Rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil).** *Acta Botânica Brasileira*, v. 16, n. 4, p. 407-420. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000400004>
- MACIEL, D.C, ET AL., COSTA, B.V.M., SANTOS, L.P.S., SOUZA, J.R.B., ZANARDI-LAMARDO, E. 2015. **Avaliação da toxicidade dos sedimentos do sistema estuarino do rio Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis* Volkmann Rocco (1973).** *Tropical Oceanography*, Recife, v. 43, n. 1, p. 26-37. Disponível em: <https://doi.org/10.5914/tropocean.v43i1.5882>
- MACIEL, D.C.; CASTRO I.B.; SOUZA, J.R.B.; YOGUI, G.T.; FILMANN, G.; ZANARDI-LAMARDO, E. 2018. **Avaliação de Organotins e imposex em dois estuários da costa nordeste brasileira.** *Marine Pollution Bulletin*. v. 126, p .473-478,. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.061>
- MAKSYMOWSKA, D., RICHARD, P., PIEKAREK-JANKOWSKA, H., RIERA, P., 2000. **Chemical and isotopic composition of the organic matter sources in the Gulf of Gdansk (Southern Baltic Sea).** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51, 585 – 598. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0701>
- MANSO, V.A.V.; MUEHE, D.; ARRUDA, S. D. D.; COUTINHO, P. N.; MADRUGA FILHO, .D.; PEDROSA, F. ; SILVA, A. C. ; ARRAES, M.; BARCELLOS, R.L. 2018.

Panorama da erosão Costeira no Brasil, trecho Pernambuco. In: Dieter Muehe. (Org.). *Panorama da erosão costeira no Brasil*; Ministério do Meio Ambiente, secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Departamento de Gestão Ambiental Territorial. 1ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente -MMA, v. 1, p. 345-380.

MARONE, E., MACHADO, E. C., LOPES, R. M., & SILVA, E. T. da. 2005. **Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, southern Brazil.** *Brazilian Journal of Oceanography*, 53(3-4), 169-181. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592005000200007>

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO-CASTRO, C.M.V.; COSTA, M.F.; REZENDE, C.E. 2011. **Geoquímica de metais em sedimentos da zona estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil.** *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(4): 379-387. <https://doi.org/10.5894/rgci183>

MARTINELLI L.A., OMETTO J.P.H.B., FERRAZ E.S., VICTORIA R.L., CAMARGO P.B., MOREIRA M.Z. 2009. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis.** São Paulo: Oficina de Textos. 144 p.

MATTHIESSEN, P., LAW, R.J., 2002. **Contaminants and their effects on estuarine and coastal organisms in the United Kingdom in the late twentieth century.** *Environmental Pollution*, v. 120, p. 739–757. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00175-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00175-6)

MCMANUS, D.A. 1975. **Modern versus Relict sediments on continental shelf.** *Geological Society of America Bulletin*, 86:1154-1160. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1975\)86<1154:MVRST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1975)86<1154:MVRST>2.0.CO;2)

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

MEYERS, P.A. 1997. **Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes.** *Organic Geochemistry*, 27, 213-250. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00049-1](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00049-1)

MEYERS, P.A. 2003. **Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: A summary of examples from the Laurentian Great Lakes.** *Organic Geochemistry*. v. 34, n. 2, p. 261-289.

MIRANDA, A. M. 2019. **Condições ambientais do estuário do rio Merepe (Pernambuco/Brasil): Biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos.** Dissertação de Mestrado. UFPE. 69p.

MÜLLER, G. 1967. **Methods in sedimentary petrography (Part I)**, New York, Hafner Publishing. xxxpg

MULLER, A., VOSS, M., 1999. **The palaeoenvironments of coastal lagoons in the southern Baltic Sea: II. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ ratios of organic matter-sources and**

sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 145, 17 – 32
[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(98\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(98)00095-9)

NAIDU, A.S., COOPER, L.W., FINNEY, B.P., MACDONALD, R.W., ALEXANDER, C., SEMILETOV, I.P., 2000. **Organic carbon isotope ratios (d13C) of Arctic Amerasian Continental shelf sediments. *International Journal of Earth Sciences* 89, 522 – 532.** <https://doi.org/10.1007/s005310000121>

NEUMANN, V.H., MEDEIROS, C., PARENTE, L., NEUMANN-LEITÃO, S.; KOENING, M.L. 1998. **Hydrodynamism, Sed-imentology, Geomorphology and Plankton Changes at Suape Area (Pernambuco - Brazil) after a Port Com-plex Implantation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 70, n. 2, p. 313-323.** <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000400004>

OLIVEIRA, T. S. et al., 2014. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e bacia do Pina, Recife – PE. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14 (3):399-411.** <https://doi.org/10.5894/rgci470>

OLIVEIRA, T. S & BARCELLOS, R.L., 2014. **Caracterização sedimentológica e geoquímica do apicum do sistema estuarino do rio Itapessoca, Goiana, Pernambuco, Brasil. *Revista Tropical Oceanography*, Recife, v. 42, n. especial, p. 94-111.** <https://doi.org/10.5914/tropocean.v42i3.5772>

OLIVEIRA, T. S.; BARCELLOS, R. L.; SILVA, S. M. 2017. **Distribuição sazonal da matéria orgânica e carbonato nos sedimentos do sistema estuarino do Porto de Suape, Pernambuco.** In: 17 Congresso Latino Americano de Ciências do mar, Balneário Camboriú. Anais de Resumos, 1330 p.

OLIVEIRA, T. S. 2019. **Sedimentação na região de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).** Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE, 82p.

OLIVEIRA, T. R. S. SANTOS, L.D., DA SILVA, J.C.A., EICHLER, P.P. BARCELLOS, R.L., 2019. **Correlação entre Características Sedimentológicas e Foraminíferos Bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um Estudo Ambiental.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 42 - 2 / 2019 p. 159-168. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_159_168.

OLIVEIRA, T. S., XAVIER, D. DE A, SANTOS, L. D., FRANÇA, E. J., SANDERS, C. J., PASSOS, T. U., BARCELLOS, R. L. 2020. **Geochemical background indicators within a tropical estuarine system influenced by a port-industrial complex.** Marine Pollution Bulletin. 111794, ISSN 0025-326X. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111794>.

OLIVEIRA, T., XAVIER, D., SANTOS, L., PASSOS, T., PENNY, D., SANDERS, C.J., DE FRANCA, E., BARCELLOS, R. (2021). **Reconstructing the history of environmental impact in a tropical mangrove ecosystem: A case study from the Suape port-industrial complex, Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101747.** <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101747>

- OLIVEIRA, T. R. S., DOS SANTOS, L. D., EICHLER, P. P. B., BARKER, C. P., & BARCELLOS, R. L., 2022. **Benthic Foraminifera of Tropical Estuarine-Lagoonal-Bays System, in the Suape Harbor, Brazil: A Case Study.** *Journal of Foraminiferal Research*, 52(1), 4-20. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.52.1.4>
- PAIVA, A. C. G. & ARAÚJO, M. E. 2010. **Environmental characterization and spatial distribution of fish fauna in estuaries in the State of Pernambuco, Brazil.** *Tropical Oceanography*, v. 38, 1-46. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v38i1.5159>
- PAROPKARI, A.L., IYER, S.D., CHAUHAN, O.S. & PRAKASH BABU, C. 1991. **Depositional Environments Inferred from Variations of calcium Carbonate, Organic Carbon, and Sulfide Sulfur: A core from Southeastern Arabian Sea.** *Geo-Marine Letters*, 11: 96–102. <https://doi.org/10.1007/BF02431036>
- PARDAL, E. C., XAVIER, D. de A., VILELA, I., CAMARGO, P. B. de, FLORES-MONTES, M. de J., & BARCELLOS, R. L. (2019). **Variabilidade sedimentológica e geoquímica em um sistema estuarino tropical sob forte influência antrópica (Rio Capibaribe-PE).** *Pesquisas Em Geociências*, 46(3), e0852. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.97386>
- PASSOS, T., PENNY, D., SANDERS, C.J., DE FRANCA, E., OLIVEIRA, T., SANTOS, L., BARCELLOS, R. 2021. **Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112219>
- PASSOS, T., PENNY, D., BARCELLOS, R., SANDERS, C.J., 2022. **Assessment of the temporal retention of mercury and nutrient records within the mangrove sediments of a highly impacted estuary.** *Environmental Research*, 112569. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112569>
- PEJRUP, M. (1988). **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach.** *Tide-influenced sedimentary environments and facies. Reidel, Dordrecht*, 289-300.
- PERNAMBUCO, 1998. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente. Diretoria de Recursos Hídricos. CIRILO, Jose Almir (coord.), **Plano Estadual de Recursos Hídricos - Documento Síntese.** Recife: 223 p.
- PIRES ADVOGADOS & CONSULTORES. 2000. **Avaliação de Impacto ambiental. Modernização e ampliação do porto de Suape.** Recife.
- PORTELA, P.J.C. 2013. **Análise elementar e isotópica de sedimentos estuarinos do Rio Alcabrichel Torres Vedras) e da Ribeira de Bensafirim (Lagos).** Lisboa, 101p. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Geologia do Ambiente, Risco Geológico e Ordenamento do Território, Departamento de Geologia. Universidade de Lisboa.
- PORTO DE SUAPE, 2020. **Porto de Suape.** URL. <http://www.suape.pe.gov.br>, Accessed date: 12 june 2020 (WWW Document).

RABALAIS, N.N.; DIAZ, R.J.; LEVIN, L.A., TURNER, R.E., GILBERT, D; ZHANG, J. 2010. **Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia.** *Biogeosciences* v. 7, p.585–619. 2010. <https://doi.org/10.5194/bg-7-585-2010>

ROMANKEVICH, E. A. **Geochemistry of Organic Matter in the Ocean.** New York, Springer-Verlag, 334p., 2013.

SAITO, Y., NISHIMURA, A. & MATSUMOTO, E. 1989. **Transgressive and Sheet Covering the Shelf and Upper Slope off Sendai, Northeastern Japan.** *Marine Geology*, 89(3/4): 245-258. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(89\)90078-9](https://doi.org/10.1016/0025-3227(89)90078-9)

SANTOS, L. D. & BARCELLOS, R.L. **Sedimentação atual do estuário do Rio Formoso - PE (Brasil).** 1. ed. Saarbrücken, Alemanha: NEA-Edições, 2017. v. 1. 113p

SANTOS, L. D.; VEIGA, T. T; CAMARGO, P.B.; BARCELLOS, R.L. 2019. **Influence of the industrial port complex of Suape on seasonal distribution of estuarine surficial sediments and organic matter.** *International Conference on Coastal Sediments*. https://doi.org/10.1142/9789811204487_0155.

SCHETTINI, C. A. F., MIRANDA, J. B., VALLE-LEVINSON, A., TRUCCOLO, E. C. & DOMINGUES, E. C., 2016. **The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars.** *Brazilian Journal of Oceanography*, 64, 3, 263-276. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592016119106403>

SCHETTINI, C. A. F., VALLE-LEVINSON, A., TRUCCOLO, E.C., 2017. **Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses.** *Regional Studies in Marine Science*, 10, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.01.004>

SHEPARD, F.P. & D. G. MOORE. 1954. **Sedimentary Environments Differentiated by Coarse Fraction Analysis.** *Bull. An. Assoc. Petrol. Geol.*, 38(8):1792-1802.

SILVA, J. B., GALVÍNCIO, J. D., CORRÊA, A. C. DE B., SILVA, D. G. DA C., MACHADO, C.C. 2011. **Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM.** *Revista Brasileira de Geografia Física* - ISSN: 1984-2295. V. 04, n 1. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i1.232689>.

STEIN, R., MACDONALD, R.W. (Eds.), 2004. **The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean.** Springer, Berlin.
SUGUIO, K. 1973. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP. 317p.

TYSON, R.V. (1995) **Sedimentary Organic Matter.** *Chapman & Hall*, London, 589 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0739-6>

VASCONCELOS, A. G. P. P. 2019. **Geoquímica Sazonal do fósforo sedimentar dos estuários Ipojuca e Massangana, complexo industrial portuário de Suape –**

PE. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Oceanografia. 98 p .

VEIGA, T. T.; SANTOS, L. D.; BARCELLOS, R. L. **Análise da dinâmica sedimentar espaço-temporal dos estuários do Ipojuca e Merepe (PE) com base nos componentes da fração arenosa (0,25mm e 0,50mm).** In: Clécio Danilo Dias da Silva; Danyelle Andrade Mota. (Org.). A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2. 1ª ed. Ponta Grossa PR: Atena, 2021, v. 2, p. 1-18. . <https://doi.org/10.22533/at.ed.2632104101>

WADA, E., HATTORI, A., 1991. **Nitrogen in the Sea: Forms, Abundances, and Rate Processes.** CRC Press, Boca Raton, FL. 208 P.

XAVIER, D. de A., SCHETTINI, C. A., FRANÇA, E. J., FIGUEIRA, R. C., BARCELLOS, R. L., 2017. **Determination of geochemical background values on a tropical estuarine system in a densely urban area. Case study: Capibaribe estuary, Northeastern Brazil.** Marine Pollution Bulletin, v. 123, Issues 1–2, p. 381-386, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.007>.

ZANARDI-LAMARDO, E., SCHETTINI, C. A.F., SCHETTINI, VIEIRA-CAMPOS, A.A., CABRAL, C.B., SILVA, M.S., 2018. **Intratidal variability and transport of petroleum aromatic hydrocarbons in an anthropized tropical estuarine system: the Suape estuary (8.4S 35W).** *Brazilian Journal of Oceanography*, 66(1):47-57. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592018148006601>

6.3 ARTIGO 3 - “RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO SEDIMENTAR E DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA ESTUARINO-LAGUNAR DOS RIOS IPOJUCA E MERPE (PE).

L.D. Santos, R. C. Carvalho, P. B. Camargo, R. L. Barcellos

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo reconstruir a evolução sedimentar e identificar os impactos ambientais através do exame de um perfil sedimentar localizado em um banco de intermarés próximo a uma área de mangue localizada no sistema estuarino lagunar do rio Ipojuca, Ipojuca (PE), Nordeste do Brasil. Foi coletado em 04/12/2017 um testemunho de sondagem com 2,08m de recuperação, sendo geradas 104 amostras de sedimentos subsuperficiais e realizadas análises granulométricas e geoquímicas: isótopos estáveis de carbono e nitrogênio ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N), carbono orgânico total (C) e teor de carbonato de cálcio (CaCO_3). A taxa de sedimentação é compatível com os outros estuários da região (0,65 cm.ano⁻¹) calculada por meio de datação ^{14}C de

320 anos da base do testemunho. O testemunho foi dividido em três unidades deposicionais de acordo com os parâmetros geoquímicos. As variações reveladas na composição do sedimento, refletem as mudanças naturais e antropogênicas principalmente influenciadas pela economia canavieira e a implantação do porto de Suape. A primeira unidade (1698 - 1800) é composta por sedimentos mais antigos depositados em períodos anteriores às grandes mudanças na área. Os sedimentos desta fase são ligeiramente mais arenosos, oligotróficos, com conteúdos orgânicos baixos e de origem mista de algas lacustres e marinhas. A unidade II (1800 - 1975), é marcada pelo incremento de conteúdos orgânicos resultante da entrada de fontes de matéria orgânica terrestre, refletida na mudança da assinatura isotópica com a presença de sedimentos areno-lamosos de origem mista (plantas C3) provavelmente resultante do desmatamento da mata atlântica para a monocultura de cana-de-açúcar. Já a unidade III (1975 - 2017), inicia com a mudança no padrão de sedimentação que seria associada ao período de enchentes e inundações, o qual percebe-se um acúmulo de sedimentos arenosos e matéria orgânica de origem continental a mista. Percebe-se também um pico do teor de N%, associado ao confinamento da área ocasionado pelas obras com a instalação do Porto de Suape após 1979. Em seguida à estes eventos, a partir de 1983 observa-se uma mudança no padrão sedimentar, com aumento de sedimentos finos para o topo e de CaCO_3 com a fonte de matéria orgânica de origem marinha, confirmada pela mudança da assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e da razão C/N, provavelmente decorrente das aberturas estruturais realizadas para desafogar a região confinada da Baía do Ipojuca. No geral, este estudo revela uma mudança nas fontes e composição de sedimentos no sistema como consequência do desenvolvimento humano adjacente às áreas estuarinas, na qual os sedimentos ligeiramente mais arenosos na base indicam uma condição mais lagunar e o topo uma condição mais confinada, associada à expansão do delta-intralagunar do rio Ipojuca nos últimos 300 anos, acentuada pela construção do CIPS.

Palavras-chave: Evolução sedimentar, ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, estuário, porto, matéria orgânica, impactos ambientais.

ABSTRACT

The present study aims to reconstruct the sedimentary evolution and identify the environmental impacts through the examination of a sedimentary profile located in an intertidal bank near a mangrove area located in northeastern Brazil. It was collected in a drill core with 2.08 m of recovery, generating 104 samples of subsurface sediments and performing granulometric and geochemical analyzes: stable isotopes of carbon and nitrogen ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$), organic matter (OM), total nitrogen (N), total organic carbon (C) and calcium carbonate content (CaCO_3). The sedimentation rate ($0.65 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$) is compatible with other estuaries in the region calculated through ^{14}C dating spanning 320 years from the core base. The core was divided into three depositional units according to geochemical parameters. The variations revealed in the composition of the sediment reflect natural and anthropogenic changes mainly influenced by the sugarcane economy and the implantation of the port of Suape. The first unit (1698 - 1800) is composed of older sediments deposited in periods prior to major changes in the area. The sediments of this phase are slightly more sandy, oligotrophic, with low organic contents and of mixed origin of lacustrine and marine algae. Unit II (1800 - 1975) is marked by the increase in organic contents resulting from the entry of terrestrial organic matter sources, reflected in the change in the isotopic signature with the presence of sandy-muddy sediments of mixed origin (C_3 plants) probably resulting from the deforestation of the Atlantic Forest for the monoculture of sugar cane. Unit III (1975 - 2017), it begins with the change in the sedimentation pattern that would be associated with the flood and flood period, which is perceived an accumulation of sandy sediments and organic matter of continental to mixed origin. There is also a peak of the N% content, associated with the confinement of the area caused by the works with the installation of the Port of Suape after 1979. After these events, from 1983 on, a change in sedimentary pattern was observed, with an increase in fine sediments to the top and CaCO_3 with the source of organic matter of marine origin, confirmed by the change of the isotopic signature of $\delta^{13}\text{C}$ and the C/N ratio, probably due to the structural openings, relinking to the open sea the confined region of Ipojuca Bay. Overall, this study reveals a change in the sources and composition of sediments in the system as a consequence of human development adjacent to the

estuarine areas where the slightly sandy sediments at the base indicate a more lagoonal condition and the top a more confined condition.

Keywords: Sedimentary evolution, ^{14}C , $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, estuary, port, organic matter, environmental impacts.

1 INTRODUÇÃO

Os estuários são importantes sumidouros de sedimentos, nutrientes, poluentes e outros materiais biogeoquimicamente importantes (THOM, 1967; MCKEE, 1993; ALONGI E CHRISTOFFERSEN, 1992; WOODROFFE et al., 1985; PASSOS et al., 2021), além de serem importantes ecossistemas em estuários tropicais e subtropicais que frequentemente registram a origem e a composição de atividades dentro de uma bacia de drenagem (FIKET et al., 2017; COSTA, 2018; OLIVEIRA et al., 2021) visto que acumulam sedimentos e retêm materiais de fontes terrestres e marinhas (CONRAD et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021). Portanto, os estuários como corpo sedimentar formado, guardam em si registros da história evolutiva e fornecem informações sobre a origem do material, os meios de transporte e as características do ambiente de deposição (BARCELLOS et al., 2009).

O estudo dos estuários por meio de análise de testemunhos sedimentares com ênfase na origem da Matéria orgânica (MO) pode conduzir a uma melhor análise e compreensão da evolução deposicional da área e das modificações naturais e antrópicas sofridas, pois permite uma melhor compreensão das mudanças sedimentares causadas por e/ou impacto antropogênico (MARTINS E MENDES, 2011; RAN JAN et al., 2015; BARCELLOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021). Portanto, a origem da MO é um parâmetro crucial na análise em sistemas estuarinos (KRISTENSEN et al., 2008; PÉREZ et al., 2020b; MEYERS, 2003; SANDERS et al., 2010; PASSOS, et al., 2021). No qual o Carbono (C), o Nitrogênio (N), a C/N e os isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) podem ser usados para indicar a fonte de MO durante o processo de sedimentação (MEYERS, 1997; CLOERN et al., 2002; LAMB et al., 2006; ALONGI, 2014; PARDAL et al., 2019; SANDERS et al., 2010; PÉREZ et al., 2020a; MATOS et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; PASSOS et al., 2021).

O presente estudo tem como objetivo reconstruir a evolução sedimentar no antropoceno identificar os impactos ambientais por meio do exame de um perfil sedimentar localizado em um banco de intermarés no sistema estuarino-lagunar dos

rios Ipojuca e Merepe, com base nas características e origem da matéria orgânica. Uma vez que esta área passou por grandes modificações ao longo dos anos, principalmente no último século.

Os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca caracterizavam-se por uma sociedade canavieira até a primeira metade do século XX (ROCHA, 2000; PASSOS et al., 2021). No fim do século XIX e início do século XX as usinas se instalaram e deram início ao surgimento da agroindústria. Na segunda metade do século XX, há também registros de uma pequena expressão de indústrias de tecidos, alimentos e algumas no setor metal-mecânico (GARCIA & MUSSALEM, 2011). Além dessas, ocorriam na região atividades extrativistas (peixe, crustáceos, côco e outras frutas) e um artesanato de pequena escala (PERNAMBUCO, 1978). Transformações sociais e ambientais significativas também ocorreram após a implantação do PROÁLCOOL, o Programa Nacional Brasileiro de Etanol, o qual foi implementado no Brasil em resposta à crise global do petróleo em 1973 (Passos et al., 2021). A população do Cabo de Santo Agostinho dobrou de 120 mil para 240 mil habitantes desde a instalação do porto (1980-2016) (PASSOS et al., 2021) e de Ipojuca é estimada em 99 mil habitantes (IBGE, 2021).

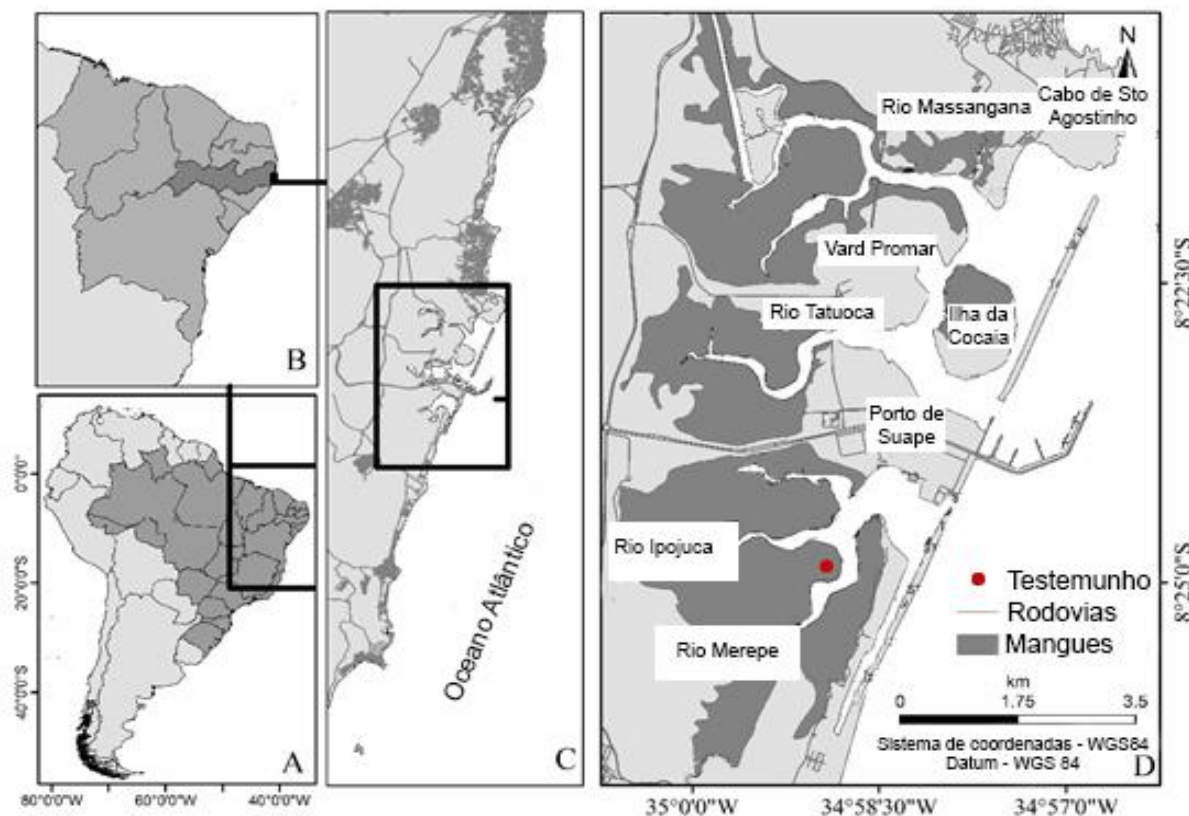
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O sistema estuarino-lagunar do Ipojuca/Massangana-Suape está localizado a cerca de 40 km ao sul da cidade de Recife. No qual encontra-se um dos mais importantes portos do Brasil (BARROS et al., 2011; BARCELLOS & SANTOS, 2018; PASSOS et al., 2021), cobrindo mais de 3.000 ha e processando aproximadamente 25 milhões toneladas de carga por ano (SUAPE, 2017; PASSOS et al., 2021). O complexo estuarino é formado pela combinação dos estuários de Ipojuca e Merepe, e estuários de Massangana e Tatuoca (BARCELLOS & SANTOS, 2018; ZANARDI-LAMARDO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021). Originalmente, o complexo estuarino era formado pela confluência dos 4 rios em uma única lagoa costeira, no qual era separada do oceano por um recife de arenito contínuo com uma entrada na extremidade norte (ZANARDI-LAMARDO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021), mas isso foi alterado após a instalação do Porto de Suape (figura 1).

De acordo com Neumann et al. (1998) e Santos et al. (2019), os sedimentos superficiais da região estuarina do Rio Ipojuca são em geral arenosos, litoclásticos e com baixos teores de MO, mas ocorrem também lamas terrígenas com médios a altos teores orgânicos. Essas fácies sedimentares diferem dos sedimentos da plataforma adjacente que são compostos de grãos arenosos a cascalhosos bioclásticos e com baixos a médios teores orgânicos de origem marinha (BARCELLOS et al., 2020). O estuário apresenta batimetria relativamente rasa. Vasconcelos (2019) e Lins (2002) descreveram que a região tem profundidades de até 1,6 m, atingindo de 3,4 a 4,0 m no estreito canal aberto transversalmente ao cordão de arenito. Lins (2002) também afirma que a circulação é dominada pelas marés, resultando em um transporte líquido de descarga tanto no período chuvoso quanto na estiagem. As correntes mais intensas identificadas para a região foram de 71,4 a 89,6 cm.s⁻¹ na maré de sizígia no período chuvoso no alto estuário do rio Ipojuca e menos intensas <50 cm.s⁻¹ no período de estiagem (LINS, 2018).

Figura 1: Localização dos sistemas estuarino-lagunares do Ipojuca e Suape, e do CIPS no litoral brasileiro (A), detalhes da sua localização na região Nordeste do Brasil (B), no litoral pernambucano (C) e indicação do ponto de amostragem do testemunho no estuário lagunar de Ipojuca.



Fonte: Autor (2022).

Segundo Köppen, a área é classificada como quente e clima tropical úmido (As') e caracterizada por duas estações: a seca, de setembro a fevereiro e a chuvosa, de março a agosto. A precipitação anual varia de 1.500 a 2.500 mm.ano⁻¹. As temperaturas médias diárias variam entre 23 e 28 °C, com temperatura média anual de 25 °C (KOENING et al., 2002). A geologia de superfície dentro das bacias hidrográficas inclui granitos e gnaisses (Formação Borborema), basaltos e riolitos (Formação Ipojuca), calcários (Formação Estiva), conglomerados (Formação Cabo), e os sedimentos quaternários da planície costeira (LIMA et al., 2006).

A hidrografia da área de estudo é composta por duas categorias de rios: os costeiros: Massangana (102 km²), Tatuoca (13 km²) e Merepe (87 km²), que fazem parte das Pequenas Bacias Hidrográficas Costeiras; e um rio translitorâneo, o Ipojuca com 135 km² de área estuarina (NEUMANN, 1991; OLIVEIRA et al., 2019). Fraga et al., (2013) descreveram que há três zonas distintas em relação ao uso do solo: uma zona rural, a qual compreende a área de nascentes; uma zona industrial e uma zona estuarina. Segundo CPRH (2003), 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 complexo industrial de Suape, enquanto o uso da água dos rios é feito para o abastecimento da população, ela também recebe efluentes domésticos, industriais e agroindustriais.

2.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE SEDIMENTOS

Um testemunho sedimentar (T10) de 208 cm de comprimento foi coletado em 04 de dezembro de 2017 em um banco de intermarés, adjacente à uma área de franja de mangue no baixo estuário do Rio Merepe (8°24'59,4"S 34°58'52,7"W) (Figura 1) por meio da técnica de "push-core". O ponto de amostragem foi escolhido estrategicamente por estar localizado em uma área francamente deposicional, um baixio marginal de intermarés protegido, e não diretamente perturbado pela industrialização e urbanização e, ao mesmo tempo, localizado em um complexo industrial, associado à uma área de rápido crescimento urbano. O testemunho T10 foi aberto, descrito e subamostrado em intervalos de 2 cm. As alíquotas de sedimentos foram secas em estufa a 40°C.

As análises granulométricas foram realizadas com um analisador a laser Horiba e os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) e matéria orgânica total (MOT) foram determinados de acordo com os métodos descritos em Carver (1971), através da técnica da diferença de peso seco, antes e depois do tratamento com solução de HCl a 10% e H_2O_2 a 10%, respectivamente.

As análises de C, N e as razões isotópicas estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) foram realizadas no Centro de Energia Nuclear em Agricultura, Piracicaba (Universidade de São Paulo), segundo procedimentos de Hedges e Stern (1984). Essas análises foram realizadas através da combustão automática da amostra em um Carlo Erba, analisador elementar (CHN-1110), acoplado a um espectrômetro de massa (Finnigan Delta Plus). As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos foram separados por cromatografia, purificada e transportada por um fluxo contínuo de Hélio. Os resultados de C e N são expressos em porcentagem. Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) são referidos respectivamente ao PDB (Pee Dee Belemnite) e Air (ar atmosférico), expresso em ppm. Os valores das razões C/N foram obtidos pela simples divisão entre o conteúdo dos elementos de cada amostra analisada.

A datação dos sedimentos foi realizada pela técnica de radiocarbono da Beta Analytics, através espectrometria de massa com aceleradores (AMS), com calibração do método de faixa de densidade de alta probabilidade e com limite de detecção de 47.000 cal AP (antes do presente). Foram datadas as alíquotas da base (206 -208 cm) através de um material vegetal (folha) e a alíquota 156-158 cm por meio de um fragmento de uma concha (bivalve) não identificada.

2.3 TRATAMENTO DE DADOS

Os dados de granulométricos foram interpretados segundo Folk e Ward (1957), Shepard (1954) e Pejrup (1988) e os teores de carbonato de cálcio (CaCO_3) foram classificados segundo a proposta de Larssonneur et al. (1982). O estado trófico da região foi calculado e interpretado pela classificação proposta por Hakanson (1984), baseado no indicador o “Bio Production Number” (BPN), obtido através do cálculo baseado nas concentrações de NT e MOT contidos nos sedimentos ($\text{BPN} = \text{NT}(\%) / \text{MOT}(\%) * 100$).

3 RESULTADOS

O testemunho T10 foi dividido em 3 unidades correspondendo a intervalos de mudanças das características sedimentares e geoquímicas dos sedimentos (tabela 1).

Tabela 1: Mínimo, máximo, média e desvio padrão para cada unidade de sedimentação do testemunho do baixo estuário do rio Merepe (T10)

	Unidade I	Unidade II	Unidade III
Anos	1698 - 1800	1800 - 1975	1975 - 2017
Areia (%)	0 - 100 (32,6 ± 27,9)	0 - 85,9 ± (35,6 ± 22,4)	0 - 99,7 ± (32,9 ± 26)
Lama (%)	0-100 (67,4 ± 29,7)	0,3 - 100 ± (64,4 ± 21,9)	0,3 - 100 ± (67,1 ± 26,0)
CaCO ₃ (%)	0,4 - 6,2 (3,7 ± 1,6)	1,8 - 5,6 (3,6 ± 0,9)	2,3 - 8,5 (6,1 ± 1,8)
MO (%)	0,6 - 5,6 (2,9 ± 1,3)	0,9 - 23,5 (11,7 ± 6,8)	21,4 - 23,5 (22,8 ± 0,6)
C (%)	0 - 0,4 (0,2 ± 0,1)	0,5 - 5,3 (3,2 ± 1,2)	5,0 - 6,0 (5,5 ± 0,4)
N (%)	0 - 0 (0 ± 0)	0,0 - 0,3 (0,2 ± 0,1)	0,3 - 0,5 (0,4 ± 0,1)
C/N	0,1 - 25 (12,8 ± 5,1)	0,0 - 28,0 (14,7 ± 5,1)	10,0 - 19,3 (13,6 ± 2,7)
δ ¹³ C (‰PDB)	-24,7 - -23(-23,7 ± 0,4)	-24,4 - -21,5 (-23,3 ± 0,6)	-24,6 - -22,9 (-23,9 ± 0,5)
δ ¹⁵ N (‰Ar)	-5,9 - 6,8 (2,2 ± 3,8)	5,5 - 7,7 (6,6 ± 0,6)	6,0 - 7,0 (6,3 ± 0,3)

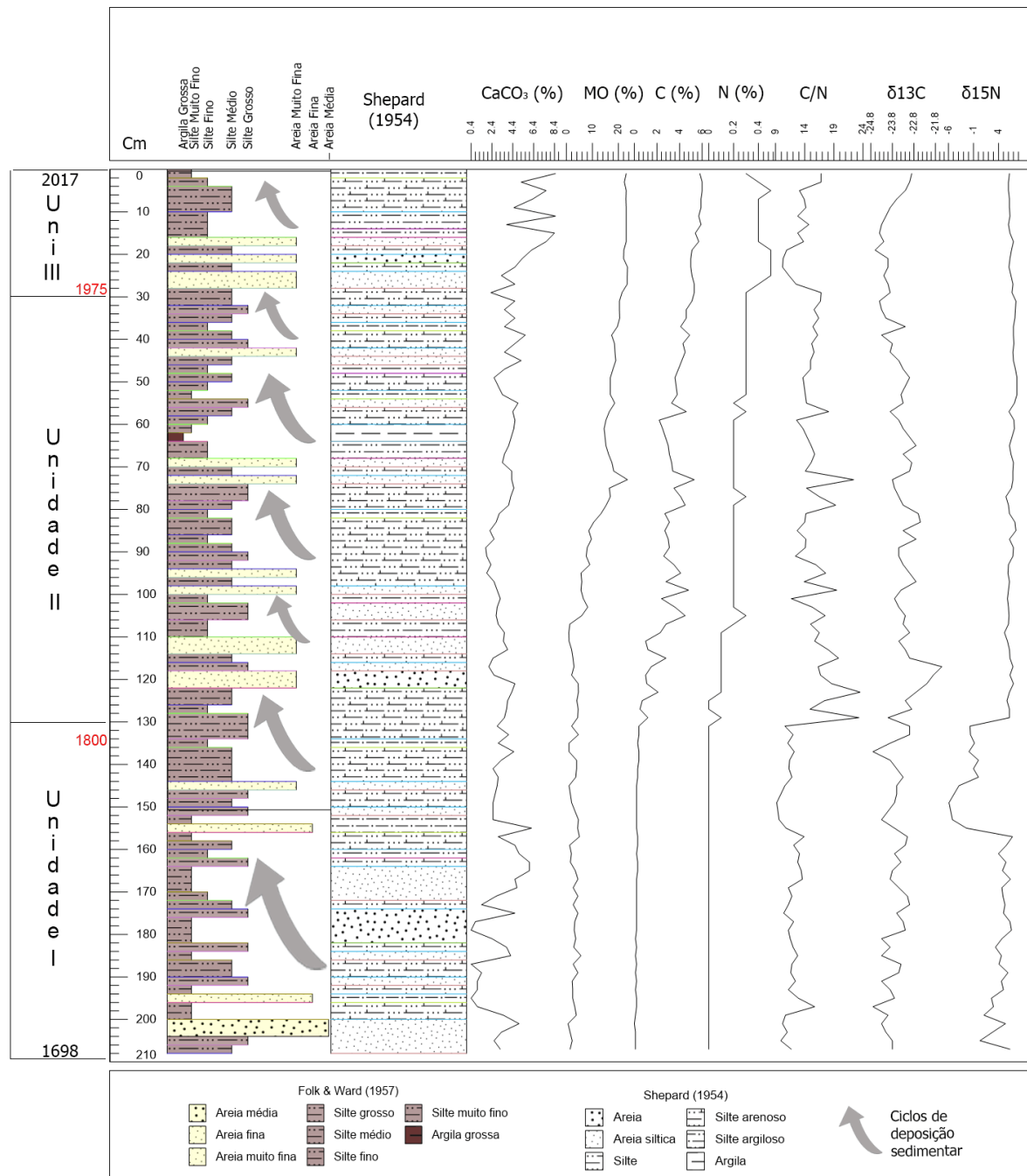
Fonte: Autor (2022).

Os resultados das datações ¹⁴C mostram que o testemunho apresentou idade de 320 anos cal AP na profundidade de 208 cm e 860 anos na profundidade de 158 cm. No entanto, para o cálculo da taxa de sedimentação foi utilizada apenas a datação da base de 320 anos (0,65 cm.ano⁻¹), uma vez que a idade do bivalve é mais antiga nos sedimentos mais recentes e esta inversão de idades foi interpretada como produto do retrabalhamento dos sedimentos antigos, como também foi observado por Sloss et al., (2019). Apesar da datação estar próxima do limite de confiabilidade do método (300 anos), ao se calcular a taxa de sedimentação e comparar com outros casos de estuários, percebe-se que ela é consistente com as estimativas médias dos estuários pernambucanos. De fato, Passos et al. (2021) e Passos et al. (2022) em manguezais de Suape (PE) e Catuama (PE) observaram taxas de sedimentação compatíveis: 0,73 cm.ano⁻¹ e em 0,52 cm.ano⁻¹, respectivamente.

De forma geral, o perfil granulométrico do testemunho é composto principalmente por material siltico, com predominância da fração silte médio. Observam-se ciclos de deposição interanuais com alternância entre material arenoso

e lamoso, possivelmente associados a processos de flutuações na hidrologia e aporte diferenciado de sedimentos de acordo com variabilidade climática dos últimos séculos (figura 2).

Figura 2: Descrição e distribuição dos parâmetros sedimentares do testemunho T10 subdividido em 3 unidades de sedimentação



Fonte: Autor (2022)

A Unidade I estende-se da base do testemunho (208 cm – 1698) até a profundidade de 130 cm (1800). Essa é a unidade mais antiga e é composta por sedimentos areno-lamosos siliciclásticos, pobremente a muito pobremente selecionados, baixos conteúdos orgânicos de MOT, C e N (2,9%, 0,2% e 0,0%, respectivamente), de origem mista tendendo a marinha (C/N: 12,8), baixo teor de CaCO₃ (3,7%), e sedimentos oligotróficos (tabela 1 e figura 2). Há o predomínio de sedimentos classificados como areia siltica e silte arenoso de acordo com Shepard (1954), silte médio por Folk & Ward (1957) e de sedimentos submetidos a hidrodinâmica muito alta segundo a classificação de Pejrup (1988).

A Unidade II, correspondente as profundidades entre 130 cm (1800) e 30 cm (1975) e é composta principalmente por uma lama siliciclástica com aumento gradativo de teores de conteúdos orgânicos de MO, C e N (11,7%, 3,2% e 0,2%), de origem mista tendendo a continental (C/N: 14,7), e um incremento significativo de $\delta^{15}\text{N}$ quando comparados com a unidade I ($2,2 \times 6,6\text{‰Ar}$). Este aumento dos teores de MO e N é responsável pela presença de sedimentos classificados como hipereutróficos para esta unidade. Os sedimentos desta fase foram classificados como silte arenoso, silte médio e de sedimentos de hidrodinâmica muito alta segundo a classificação de Pejrup (1988). Valores baixos de carbonato de cálcio também são observados nesta unidade (3,6%), indicando a prevalência de sedimentos terrígenos sendo depositados em ambas as unidades (I e II) (tabela 1 e figura 2).

A unidade 3 corresponde ao topo do testemunho (2017) até a profundidade de 30 cm (1975). É composta principalmente por uma lama siliciclástica com aumento significativo de teores de conteúdos orgânicos de MO, C e N (22,8, 5,5 e 0,4%), de origem mista (13,6), quando comparados com as unidades anteriores. Os valores um pouco maiores de carbonato de cálcio (6,1%) foram observados nesta unidade. No entanto, os outros parâmetros (orgânicos) indicam um aumento da influência continental para esta unidade, visto que o baixio de intermarés ficou menos dinâmico com o tempo e a aproximação da franja do mangue, o que pôde facilitar o aumento da deposição carbonática em direção ao topo do testemunho (tabela 1 e figura 2).

4 DISCUSSÃO

O testemunho sedimentar coletado no baixo estuário do rio Merepe (T10) apresentou uma taxa de sedimentação (0,65 cm.ano⁻¹) superior às observadas no

estuário do rio Capibaribe, localizado na região metropolitana de Recife, a 40 km ao norte do sistema estuarino de Suape (0,52 cm ano⁻¹) (BARCELLOS et al., 2017), (0,44 cm ano⁻¹) (XAVIER et al., 2016) e (0,33 cm ano⁻¹) (MARTINS et al., 2016), no estuário do rio Catuama, localizado na costa norte de Pernambuco aproximadamente 80 km da área estudada (0,52 cm ano⁻¹ e 0,27 cm ano⁻¹) (PASSOS et al., 2022) e inferior à taxa de sedimentação do estuário do Rio Massangana (1,37 cm ano⁻¹ e 0,73 cm ano⁻¹) (OLIVEIRA et al., 2020, 2021; PASSOS et al., 2021). Apesar da taxa de sedimentação calculada ser superior as estimativas médias globais de 0,28 cm ano⁻¹ para ecossistemas de mangue (BREITHAUPT et al., 2012), ela é consistente com as estimativas médias dos estuários pernambucanos.

As características sedimentares nos testemunhos (granulométricas e geoquímicas) estão diretamente associados a processos naturais de aporte de material e de evolução morfossedimentar de um banco de intermarés parte do delta intralagunar do rio Ipojuca. Estas feições vêm evoluindo a partir da dinâmica de variabilidade dos fenômenos oceanográficos e climáticos locais e regionais em diferentes escalas temporais (sazonal, interanual, decadal e secular), podendo estar também associadas ao desenvolvimento urbano da área. O presente estudo revelou variações significativas na composição do sedimento, refletindo mudanças naturais e antropogênicas principalmente influenciadas pelas modificações sofridas na sociedade. E indícios de ciclos de deposição interanuais associados a processos climáticos recentes.

Na Unidade 1, parte basal do testemunho (de 208 a 130 cm que ocorreu entre os anos de 1698 e 1800), são observados sedimentos arenosos siliciclásticos, com baixos teores orgânicos de origem mista tendendo a marinha e caráter oligotrófico, similares aos encontrados hoje na laguna de Muro Alto (SANTOS et al., 2019) e na Baía de Suape (OLIVEIRA et al., 2019; 2022). O que denotaria condições paleoambientais de características sedimentares lagunares e que estariam submetidas a condições hidrodinâmicas mais intensas do que no presente. Reforçado pela relação da razão C/N (média de 12,8) e $\delta^{13}\text{C}$ (-23,7 ‰PDB) característica de matéria orgânica oriunda de plâncton (algas marinhas e lagunares) de acordo com Meyers (1994). A Unidade 1 tem similaridades sedimentares com as unidades basais arenosas dos testemunhos de Oliveira et al. (2020, 2021) e de Passos et al. (2021), coletados na Baía de Suape, cerca de 6,5 km ao norte.

A unidade II (de 130 a 30 cm que ocorreu entre os anos de 1800 e 1975) representa uma fase de transição da sociedade com a economia baseada na exploração da cana-de-açúcar e o início da expansão industrial (GARCIA E MUSSALEM, 2011). Nesta unidade sedimentar, observa-se o aumento gradativo das lamias e dos teores orgânicos, principalmente da MO e do C, entre as profundidades 130 à 70 cm (correspondente ao século XIX) e paralelamente à diminuição nas razões $\delta^{13}\text{C}$ e C/N, para o mesmo período, indicativos do aumento da influência terrígena na sedimentação da área. De fato, na base desta unidade, entre as profundidades 130 - 120 cm, há um pico nas razões $\delta^{13}\text{C}$ e C/N (figura 2), indicativo de aporte de matéria orgânica de plantas superiores C3 (MEYERS, 1994). Essas alterações nos padrões dos resultados são indicativas de mudanças nas fontes de matéria orgânica para a área (Meyers, 2003) que também foi evidenciado por Passos et al., (2021) que associaram a um aumento de material terrestre no sistema estuarino de Suape, possivelmente causado pelo desmatamento. Uma vez que este período foi marcado pela substituição da Mata Atlântica pelas plantações de cana-de-açúcar para a produção do então valioso “ouro branco”, o açúcar (MORAIS, 2021). Barcellos & Santos (2018) também relatam que houve um desmatamento nas bacias hidrográficas associadas que ocasionou a supressão da floresta tropical da Mata Atlântica para a captação de áreas para a monocultura açucareira.

O aumento significativo (4x) dos teores orgânicos nesta unidade (MOT: 2,9% x 11,7%) pode estar associado ao desenvolvimento e progradação do banco de intermarés e aproximação da franja do mangue com o crescimento do delta do Ipojuca, devido à diminuição da energia hidrodinâmica refletida na sedimentação mais fina, consequência do preenchimento da bacia da paleolaguna original do sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PRASAD et al., 2010; BARCELLOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021). Entre as profundidades de 70 a 30 cm (1900-1975), observa-se um sutil aumento nos valores da razão C/N (18,1), indicativo de predomínio de entrada de material terrígeno no sistema durante todo este período, típicos de plantas C3 (MEYERS, 1994).

A unidade III (de 30 cm ao topo entre 1975 e 2017), é marcada pelo incremento de todos os indicadores orgânicos, cerca de 2x em relação à unidade II, conteúdos menos enriquecidos da razão $\delta^{13}\text{C}$ e pequena diminuição da razão C/N. Observa-se o aumento do grau de eutrofização do sistema através dos sedimentos classificados como hipereutróficos. Esse incremento de matéria orgânica com assinatura de

origem mais continental, pode ter origem natural, derivada das plantas C3 do manguezal e Mata Atlântica local, mas também podem estar associados às descargas de esgoto das áreas urbanas em rápido crescimento nas últimas décadas em Ipojuca, sem infraestrutura adequada. De fato, Passos et al., 2021 observou um incremento similar (2x) de C e N nos últimos 40 anos na Baía de Suape, cuja origem estaria associada ao aumento da emissão de esgotos devido ao crescimento urbano da vila de Suape, localizada cerca de 7km ao norte. Esse incremento de MOT foi também observado na Baía de Guanabara (BORGES et al., 2009) e Baía de Sepetiba (BORGES & NITTROUER, 2016). Confirmado pela assinatura média isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ de $-23,9\text{‰}$ da unidade III, também observado por Sampaio et al. (2010), o qual associaram ao intervalo típico de esgotos entre os valores de $-22,4$ a $-26,5\text{‰PDB}$.

Apesar da unidade III apresentar os picos e maiores conteúdos médios orgânicos, essas concentrações estão abaixo do valor de alerta de acordo com a Resolução CONAMA 454 (CONAMA, 2012), a qual indica que teores de carbono orgânico acima de 10% podem gerar danos ao meio ambiente. Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira et al., (2021) no estuário do rio Massangana. Nesta unidade, percebe-se um aumento de N maior que o de C nos sedimentos, principalmente entre as profundidades entre 20-30 cm (figura 3) que pode ser explicado por efluentes urbanos que podem estimular a remineralização do C no solo, como observado em outras regiões tropicais por suarez-abelenda et al. (2014) e por Passos et al. (2021) no estuário do rio Massangana. Os sedimentos destas camadas do T10 poderiam também representar algumas das cheias registradas no estado entre 1975-1983 (Pernambuco, 2010). No mesmo intervalo, percebe-se um acréscimo de sedimentos arenosos que pode estar associado, além do possível aporte das cheias, ao assoreamento da Baía do Ipojuca para o aterro e construção do porto. Onde foram realizadas dragagens na região do istmo de Cocaia, (ligação entre a ilha de Cocaia e o Vard Promar) formando a atual Ilha. O qual, o sedimento foi utilizado como aterro para conectar o recife e à terra firme na foz do rio Ipojuca para criar um berço para grandes navios (porto interno), bloqueando a passagem do rio (Oliveira et al., 2021).

Apesar da literatura mostrar que eventos intensos de chuvas são responsáveis pela maior parte da deposição de sedimentos de granulação fina de origem continental em áreas estuarinas (MINELLA & MERTEN, 2011; BARCELLOS et al.,

2017; OLIVEIRA et al., 2021). Picos em sedimentos de granulação fina e maiores teores de MO foram associados a grandes inundações no rio Capibaribe (MARTINS et al., 2016; XAVIER et al., 2016). De fato, acredita-se que a entrada dessa granulação arenosa para o sistema está associada a junção desses dois fatores: intensas chuvas e mudanças estruturais, confirmado principalmente pelo pico de N para o intervalo. De acordo com Neumann (1991), Neumann et al. (1998) e Koenig et al. (2002), a desembocadura dos rios Merepe e Ipojuca é um exemplo de quão drásticas foram as alterações na dinâmica costeira na área envolvida. Visto que ao ser aterrada para a construção do porto, a região se tornou uma área confinada, apresentando sedimentos com potencial para a contaminação por poluentes orgânicos, que funcionariam como retentores ou filtros dos fluxos a montante do estuário no transporte para o oceano (BARCELLOS & SANTOS, 2018), refletido no presente estudo pelo aumento de material fino e MOT (Lama, 70,5% e MO, 19,4%). Na figura 2, são observados esses impactos antrópicos pelo pico de N (0,49%) entre os intervalos 20-24 cm em condições hipereutróficas de acordo com o BPN.

Na profundidade 25 cm, observa-se uma mudança na sedimentação com o aumento dos teores de carbonatos (média 4,8%) juntamente com uma maior fonte marinha de matéria orgânica ($\delta^{13}\text{C}$, teores entre -24,61 ‰ e -22,93 ‰; C/N, valores entre 10,2 e 16,8). Resultados também relatados por Oliveira et al., (2021) entre as décadas de 1970 e 1980 que podem refletir as modificações hidrológicas na área a partir da implantação do porto de Suape que ocorreu em 1979. Devido a abertura nos beachrocks que foi realizada para desafogar a região que ficou confinada após a instalação do porto e confirmado pela mudança da granulometria, com aumento de sedimentos finos, e na geoquímica, com o aumento de CaCO_3 e mudança na fonte marinha confirmada pela mudança da assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e da razão C/N.

De um modo geral, observa-se um aumento sensível nos teores de lamas, MO e $\delta^{15}\text{N}$ em direção ao presente na unidade III. Isto pode estar ligado a mudanças nas condições ambientais naturais devido ao contínuo aporte de lama efetuado no Antropoceno pelo delta-intralagunar do rio Ipojuca, dentro do sistema estuarino-lagunar local (Baía do Ipojuca). Ou seja, observa-se a mudança de condições de baía costeira, sendo preenchida muito rapidamente nos últimos 3 séculos, evoluindo para um ambiente mais abrigado e menos dinâmico de delta de fundo de baía, com uma crescente de influência continental na sedimentação em direção ao presente (topo do testemunho). A alta taxa de sedimentação 0,65 cm.ano⁻¹ do banco de

intermarés amostrado, cerca de 2,5x maior que a média mundial em manguezais (0,28 cm.ano⁻¹) (BREITHAUPT et al., 2012; 2018), levariam a condições dinâmicas menos intensas, possibilitando a deposição de lamas terrígenas mais enriquecidas em matéria orgânica observadas.

Concomitante a esta diminuição nas condições dinâmicas associado ao processo local de preenchimento sedimentar secular da laguna original, ocorre uma mudança na qualidade da matéria orgânica local, mais enriquecida em $\delta^{15}\text{N}$ (MO de origem bacteriana) na unidade II, indicativa de processos de eutrofização (CONSTANZO et al., 2005; CONRAD et al., 2017), que podem estar associados ao desenvolvimento agrícola-urbano local desde o fim do século XIX (1890). De fato, de acordo com os dados do BPN indicam sedimentos hipereutróficos a partir na Unidade II, quando comparados à unidade basal I. Soma-se a isto o fato dos dados das razões C/N e $\delta^{13}\text{C}$ serem indicativos de influência marinha ligeiramente maior na Unidade 1, associados a sedimentos mais arenosos siliciclásticos e similares aos encontrados hoje na laguna de Muro Alto (Santos et al., 2019) e na Baía de Suape (Oliveira et al., 2019; 2022; Oliveira et al., 2020, 2022; Passos et al., 2021), o que denotaria condições paleoambientais de características sedimentares lagunares para a unidade I, e que estariam submetidas a condições hidrodinâmicas mais intensas que no presente.

5 CONCLUSÃO

Os resultados permitiram reconstruir a evolução sedimentar da região, associando-os aos eventos climáticos e histórico do uso e ocupação do solo ao longo dos 320 anos de história, desde 1698. É possível confirmar que os impactos antropogênicos causados pelo uso e ocupação do solo associados à rápida urbanização e à instalação do porto de Suape foram registrados nos sedimentos através da mudança das assinaturas geoquímicas e dos parâmetros geoquímicos estudados ao longo da coluna sedimentar.

De um modo geral, o testemunho é composto por sedimentos de granulação mais fina, predominando a fração silte médio com alternância com sedimentos arenosos que parecem estar associados a ciclos de deposição interanuais e que poderiam ser empregados para estimar a variabilidade temporal de eventos climáticos extremos. No entanto, precisam ser melhor investigados.

O testemunho foi dividido em três unidades de sedimentação de acordo com as mudanças observadas nos parâmetros sedimentares e geoquímicos analisados. Os teores orgânicos são praticamente inexistentes na unidade basal e aumentam gradativamente (4x) com a entrada de fontes terrígenas de MO e eutrofização no sistema a partir da unidade II, associados à substituição da mata atlântica pela monocultura de cana de açúcar. Na unidade III, é nítida a mudança nas características sedimentares quando comparada às demais unidades, com o dobro de matéria orgânica da unidade II. Picos de conteúdos orgânicos de origem terrígena (plantas C3) são observados na unidade III, e que poderiam também estar associados às descargas de esgoto in natura das áreas urbanas em rápido crescimento de Ipojuca. Nesta unidade, percebe-se um acúmulo de sedimentos arenosos de origem da matéria orgânica terrestre a mista com um pico do teor de N%, devido ao confinamento da área ocasionado pelas obras de instalação do porto, intensificados pelos eventos climáticos ocorridos na época entre os intervalos de 20-30 cm.

Deste modo, os resultados aqui apresentados podem ser utilizados como uma ferramenta de gestão ambiental para ajudar a entender melhor os impactos antrópicos na área e para auxiliar processos de tomada de decisão importantes na gestão costeira da área no futuro.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FACEPE pelo suporte financeiro do projeto “Sedimentação holocênica na região do complexo industrial de Suape (Suape-GeoSub)” – APQ - 0260/1.08-15.

REFERÊNCIAS

- ALONGI, D., CHRISTOFFERSEN, P., 1992. **Benthic infauna and organism-sediment relations in a shallow, tropical coastal area: influence of outwelled mangrove detritus and physical disturbance.** *Marine ecology progress series*. Oldendorf 81, 229–245.
- ALONGI, D.M., 2014. **Carbon cycling and storage in mangrove forests.** *Annu. Rev. Mar. Sci.* 6, 195–219. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- BARCELLOS, R.L.; CAMARGO, P.B.; GALVÃO, A.; WEBER, R.R. 2009. **Sedimentary organic matter in cores of Cananéia-Iguape lagoonal-estuarine system, São Paulo State, Brazil.** *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0258),

SI(56):1335-1339. Available on-line at http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_II/1335.1339_R.Barcellos_ICS2009.pdf

BARCELLOS, R.L., FIGUEIRA, R.C.L., FRANÇA, E.J., SCHETTINI, C.A., XAVIER, D.A., 2017. **Changes of estuarine sedimentation patterns by urban expansion: The case of middle capibaribe estuary, Northeastern Brazil.** *International Journal of Geosciences*. 8, 514–535. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2017.84027>.

BARCELLOS, R.L., SANTOS, L.D.D., 2018. **Histórico de impactos ambientais e o estado da arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE).** *Parcerias Estratégicas* 23, 155–168.

BARCELLOS, R.L., DA NOBREGA, A., MANSO, V.D.A.V., 2020. **Sedimentary organic matter characterization on a tropical continental shelf in northeastern Brazil.** *International Journal of Geosciences*. 11, 393–419. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2020.116021>

BARROS, L.C., VALENÇA, L.M.M., SOUZA NETO, J.A., 2010. **Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região interna de Suape PE.** In: *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, V. Especial VIII SINAGEO, 2. pp. 6–14.

BATEMAN, A.S.; KELLY, S.D.; JICKELLS, T.D. 2005. **Nitrogen isotope relationships between crops and fertilizer: Implications for using nitrogen isotope analysis as an indicator of agricultural regime.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5760-5765. <https://doi.org/10.1021/jf050374h>

BORDOVSKY, O.K. 1965. **Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments.** *Marine Geology* 3 :3-114. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(65\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0025-3227(65)90004-6).

BORGES, H.V., NITTROUER, C.A., 2016. **Sediment accumulation in Sepetiba Bay (Brazil) during the Holocene: a reflex of the human influence.** *Journal of Sedimentary Environments* 1, 90–106. <https://doi.org/10.12957/jse.2016.21868>

BORGES, A., SANDERS, C., SANTOS, H., ARARIPE, D., MACHADO, W., PATCHINEELAM, S., 2009. **Eutrophication history of Guanabara Bay (SE Brazil) recorded by phosphorus flux to sediments from a degraded mangrove area.** *Marine Pollution Bulletin*. 58, 1750. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.07.025>

BREITHAUPT, J.L., SMOAK, J.M., SMITH, T.J., SANDERS, C.J., HOARE, A., 2012. **Organic carbon burial rates in mangrove sediments: strengthening the global budget.** *Global Biogeochemical Cycles*. Vol 26 <https://doi.org/10.1029/2012GB004375>

CARVER, R.E., 1971. **Procedures in Sedimentary Petrology.** *Wiley Interscience*, p. 653. <https://doi.org/10.2475/ajs.272.9.898>

CHOI, W.J.; HAN, G.H.; LEE, S.M.; LEE, G.T.; YOON, K.S.; CHOI, S.M.; RO, H.M. 2007. **Impact of land-use types on nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in**

unconfined ground water in rural areas of Korea. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2-4): 259- 268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.002>

CLOERN, J.E., CANUEL, E.A. & HARRIS, D. 2002. **Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system.** *Limnology and Oceanography*, 47(3): 713–729. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.3.0713>

CONAMA, 2012. **Resolução nº 454, de 1º de novembro de 2012**, Dispõe Sobre Diretrizes Gerais e os Procedimentos Referenciais Para O Gerenciamento Do Material a Ser Dragado Em águas Sob Jurisdição Nacional. Acessado em: 18 de Maio de 2022.

CONRAD, S.R., SANTOS, I.R., BROWN, D.R., SANDERS, L.M., VAN SANTEN, M.L., SANDERS, C.J., 2017. **Mangrove sediments reveal records of development during the previous century (Coffs Creek estuary, Australia).** *Marine Pollution Bulletin*. 122, 441–445. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.052>

COSTANZO, S. D., UDY, J., LONGSTAFF, B., & JONES, A. (2005). **Using nitrogen stable isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) of macroalgae to determine the effectiveness of sewage upgrades: changes in the extent of sewage plumes over four years in Moreton Bay, Australia.** *Marine Pollution Bulletin*, 51(1-4), 212-217. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.018>

COSTA, B.V.M., 2018. **Distribuição da matéria orgânica em sedimentos superficiais de um estuário tropical hipereutrofizado (Bacia do Pina - PE, Brasil).** *Trop.Oceanogr.* 46 (2), 25–47, Recife. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v46i2.239347>

CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE). 2003. **Diagnóstico Socioambiental do litoral sul de Pernambuco.** Recife: CPRH, 87p.

CUNHA, P.P., DINIS, J., SILVA, A.F., ANDRÉ, J.N., 1995. **Evolução estuarina condicionada intervenções portuárias: Modificações recentes no sector intermédio e distal do estuário do Mondego.** *Memórias e Notícias* 120, 95–117.

FIKET, Ž., PIKELJ, K., IVANIC, M., BARIŠIĆ, D., VDOVIC, N., DAUTOVIC, J., GOBAC, Ž.Ž., MIKAC, N., BERMANEC, V., SONDI, I., KNIEWALD, G., 2017. **Origin and composition of sediments in a highly stratified karstic estuary: An example of the Zrmanja River estuary (eastern Adriatic).** *Reg. Stud. Mar. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.08.001>

FOLK, R.L., WARD, W.C., 1957. **Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters.** *J. Sediment. Petrol.* 27 (1), 3–26. <http://dx.doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>.

FRAGA, T. F. C., CORDÃO, M. J. S., SOARES, T. F., MOTA, M. G. C. 2013. **Discussão sobre a diluição de efluentes industriais em corpos hídricos.** *Gestão de água: água, meio-ambiente e saúde.* p. 399.

GARCIA, C., MUSSALEM, J., **Suape: muito mais que um porto, uma visão econômica.** Recife: Comunigraf, 2011.

HEATON, T.H.E.; STUART, M.E.; SAPIANO, M.; SULTANA, M.M. 2012. **An isotope study of the sources of nitrate in Malta's groundwater.** *Journal of Hydrology*, 414-415: 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.037>

HEDGES, J. I. & STERN, J. H. 1984. **Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids.** *Limnology and Oceanography*, 29, 657-663. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0657>

KENDALL, C.; ELLIOTT, E.M.; WANKEL, S.D. 2007. **Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems.** In: R.H. Michener & K. Lajtha (ed.) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, 2a ed., Hoboken, Blackwell Publishing, p. 375-449. <https://doi.org/10.1002/9780470691854.ch1>

KOENING, M.L., ESKINAZI-LECA, E., NEUMANN-LEITÃO, S.E., MACEDO, S.J., 2002. **Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do Rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil).** *Act. Bot. Brasileira* 16, 407–420. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062002000400004>.

KRISTENSEN, E., BOUILLON, S., DITTMAR, T., MARCHAND, C., 2008. **Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review.** *Aquatic Botany*. 89, 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>

LAMB, A.L., WILSON, G.P. & LEING, M.J. 2006. **A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level.** *Earth Science Reviews*, 75: 29–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.003>

LARSONNEUR, C., BOUYASSE, P., & AUFFRET, J.P. 1982. **The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches.** *Sedimentology*, 29(6): 851–864. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1982.tb00088.x>

LI, X.D.; MASUDA, H.; KOBAYASHI, K.; ZENG, H. 2007. **Nitrogen isotope study on nitrate contaminated groundwater in the Sichuan Basin, China.** *Water, Air, and Soil Pollution*, 178: 145-156. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9186-y>

LINS, P. A. M. 2002. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do rio Ipojuca, PE.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Oceanografia, 87p.

LINS, S. R. R. DE M., 2018. **Propagação das marés salina e dinâmica no rio Ipojuca-PE, Brasil.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Oceanografia. 121p.

MARTINS, S.E.M., MENDES, A.C., 2011. **Caracterização de depósitos sedimentares recentes da porção superior da Baía de Marajó (margem leste do estuário do Rio Pará, Amazônia).** *Pesquisas em Geociências* 38, 168–180. <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.26382>.

MARTINS, S.E.M., BARCELLOS, R.L., FLORES-MONTES, M.J. & FRANÇA, E.J. 2016. **Depositional evolution in a lagoonal estuarine system under a port influence in Northeastern Brazil.** *Journal of Coastal Research*, 75: 84-88.
<http://dx.doi.org/10.2112/SI75-017.1>

MATOS, C.R., BERRÊDO, J.F., MACHADO, W., SANDERS, C.J., METZGER, E., COHEN, M.C., 2020. **Carbon and nutrients accumulation in tropical mangrove creeks.** Amazon region. *Marine Geology* 106317.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106317>

MCKEE, K.L., 1993. **Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution—reciprocal effects?** *J. Ecol.* 477–487.

MEYERS, P.A., 1994. **Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter.** *Chem. Geol.* 114, 289–302.
[http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90059-0](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(94)90059-0).

MEYERS, P.A., 2003. **Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes.** *Org. Geochem.* 34, 261–289.
[https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00168-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00168-7)

Morais, A. L. C., 2021. A formação e consolidação de um grupo de produtores de açúcar da nobreza da terra. Capitania de Pernambuco, séculos XVI-XVIII. *Tempo, Niterói*, Vol. 28 n. 1. <http://dx.doi.org/10.1590/TEM-1980-542X2022v2801010>

MULLER, G., 1967. **Methods in Sedimentary Petrography (Part I).** Hafner Publishing Co., N. York, p. 283. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626487>

NEUMANN, V.H., MEDEIROS, C., PARENTE, L., NEUMANN-LEITÃO, S.; KOENING, M.L. 1998. **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.
<https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000400004>

OLIVEIRA, T. R. S. SANTOS, L.D., DA SILVA, J.C.A., EICHELER, P.P. BARCELLOS, R.L., 2019. **Correlação entre Características Sedimentológicas e Foraminíferos Bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um Estudo Ambiental.** *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. Vol. 42 - 2 / 2019 p. 159-168. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_159_168

OLIVEIRA, T.S., XAVIER, D.D.A., SANTOS, L.D., FRANÇA, E.J., SANDERS, C.J., PASSOS, T.U., BARCELLOS, R.L., 2020. **Geochemical background indicators within a tropical estuarine system influenced by a port-industrial complex.** *Mar. Pollut. Bull.* 161, 111794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111794>

OLIVEIRA, T.S, ET AL., 2021. **Reconstructing the history of environmental impact in a tropical mangrove ecosystem: A case study from the Suape port-industrial complex, Brazil. Region.** *Stud. Mar. Sci.* 44 (101747)
<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101747>.

OLIVEIRA, T. S, SANTOS, L.D., Eichler, P.P.B., Baker, C. P., Barcellos, R. L., 2022. **Benthic Foraminifera of Tropical Estuarine-Lagoonal-Bays System, in the Suape Harbor, Brazil: A Case Study.** *Journal of Foraminiferal Research* 52 (1): 4–20. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.52.1.4>

PARDAL, E. C., XAVIER, D. DE A., VILELA, I., CAMARGO, P. B. DE, FLORES-MONTES, M. DE J., & BARCELLOS, R. L. (2019). **Variabilidade sedimentológica e geoquímica em um sistema estuarino tropical sob forte influência antrópica (Rio Capibaribe-PE).** *Pesquisas Em Geociências*, 46(3), e0852. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.97386>

PASSOS, T., PENNY, D., SANDERS C., FRANÇA, E., OLIVEIRA, T., SANTOS, L., BARCELLOS, R., 2021. **Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, 206, 112219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112219>

PASSOS, T., SANDERS, C.J., BARCELLOS, R., PENNY, D., 2022. **Assessment of the temporal retention of mercury and nutrient records within the mangrove sediments of a highly impacted estuary.** *Environmental Research*, 206, 112569. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112569>

PEJRUP, M., 1988. **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach.** In: Boer, P.L., Van Gelder, A., Nio, S.D. (Eds.), *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. D. Reidel, Dordrecht, pp. 289–300. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-7762-5_21
PÉREZ, A., MACHADO, W., GUTIÉRREZ, D., SÁLDARRIAGA, M.S., SANDERS, C.J., 2020A. **Shrimp farming influence on carbon and nutrient accumulation within Peruvian mangroves sediments.** *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 243, 106879 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106879>

PÉREZ, A., MACHADO, W., GUTIERREZ, D., SMOAK, J.M., BREITHAUPT, J.L., SÁLDARRIAGA, M.S., SANDERS, L., MAROTTA, H., SANDERS, C.J., 2020b. **Carbon and nutrient accumulation in mangrove sediments affected by multiple environmental changes.** *Journal of Soils and Sediments* 1–6 <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02612-4>

PERNAMBUCO, GOVERNO DO ESTADO DE, 1978. **Suape: Ecologia E Cultura.** Recife: Secretaria de Planejamento/Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco – CONDEPE, p. 36.

PRASAD, K.B.K., DITTMAR, T., RAMANATHAN, A.L., 2010. **Organic matter and mangrove productivity.** In: Ramanathan, A.L., et al. (Eds.), *Management and Sustainable Development of Coastal Zone Environments*. Springer-Verlag, pp. 175–193. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3068-9_12.

RANJAN, R.K., ROUTH, J., KLUMP, J.V., RAMANATHAN, A.L., 2015. **Sediment biomarker profiles trace organic matter input in the pichavaram mangrove complex, southeastern India.** *Mar. Chem.* 171, 44–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2015.02.001>.

ROCHA, D., 2000. **A dialética do local e do global: os atores e as metamorfoses dos lugares no litoral do cabo de Santo Agostinho**. In: Dissertação (Mestrado em Geografia) 217 pgs. Recife, UFPE.

SAENGER, P., HEGERL, E., DAVIS, J., 1983. **Global status of mangrove ecosystems**. Commission on Ecology Papers Number 3. Gland Switzerland: IUCN. The Environmentalist 3.

SAMPAIO, L; FREITAS, R; MAGUAS, C; RODRIGUES, A; QUINTINO, V. **Coastal sediments under the influence of multiple organic enrichment sources: An evaluation using carbon and nitrogen stable isotopes**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, p. 272–282, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.09.008>

SANDERS, C.J., SMOAK, J.M., NAIDU, A.S., SANDERS, L.M., PATCHINEELAM, S.R., 2010. **Organic carbon burial in a mangrove forest, margin and intertidal mud flat**. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 90, 168–172
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.08.013>

SANDERS, C.J., EYRE, B.D., SANTOS, I.R., MACHADO, W., LUIZ-SILVA, W., SMOAK, J.M., BREITHAUPT, J.L., KETTERER, M.E., SANDERS, L., MAROTTA, H., 2014. **Elevated rates of organic carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in a highly impacted mangrove wetland**. *Geophysical Research Letters* 41, 2475–2480. <https://doi.org/10.1002/2014GL059789>

SANTOS, L. D.; VEIGA, T. T; CAMARGO, P.B.; BARCELLOS, R.L. 2019. **Influence of the industrial port complex of Suape on seasonal distribution of estuarine surficial sediments and organic matter**. *International Conference on Coastal Sediments*. https://doi.org/10.1142/9789811204487_0155.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRON-MOLERO, G., SOARES, M., DE-ROSA, T., 2000. **Brazilian mangroves**. *Aquat. Ecosys. Health Manag.* 3, 561–570.
[https://doi.org/10.1016/S1463-4988\(00\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S1463-4988(00)00052-X)

SHEPARD, F.P., 1954. **Nomenclature based on sand-silt-clay ratios**. *Journal of Sedimentary Research*. 24, 151–158. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>

SLOSS, C.R., JONES, B. G., MURRAY-WALLACE, C. V., BOUVET, M. 2019 **The geomorphological evolution of a saline coastal lagoon on the southeast coast of Australia: Swan Lake, New South Wales**, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224, 301-313. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.05.009>.

SUAPE, 2018. **Complexo industrial Portuário**. In: Relatório de Sustentabilidade de Suape 2017. Disponível em Acesso em 12 jan. 2022

THOM, B.G., 1967. **Mangrove ecology and deltaic geomorphology: Tabasco. Mexico**. *The Journal of Ecology* 301–343. . <https://doi.org/10.2307/2257879>

VASCONCELOS, P. P. 2019. **Geoquímica Sazonal do fósforo sedimentar dos estuários Ipojuca e Massangana, complexo industrial portuário de Suape – PE.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Oceanografia. 98 p .

WOODROFFE, C.D., THOM, B.G., CHAPPELL, J., 1985. **Development of widespread mangrove swamps in mid-Holocene times in northern Australia.** Nature 317, 711–713. <https://doi.org/10.1038/317711a0>

XAVIER, D.D.A., SCHETTINI, C.A., FIGUEIRA, R.C., BARCELLOS, R.L., 2017. **Determination of geochemical background values on a tropical estuarine system in a densely urban area. In: Case study: Capibaribe estuary. Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, Northeastern. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.007>

ZANARDI-LAMARDO, E., SCHETTINI, C.A.F., VIEIRA-CAMPOS, A.A., CABRAL, C.B., SILVA, M.S., 2018. **Intratidal variability and transport of petroleum aromatic hydrocarbons in an anthropized tropical estuarine system: the Suape estuary (8.4 S 35W).** *Brazilian Journal of Oceanography*. 66, 47–57. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592018148006601>

7 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados desta pesquisa, indicam que os estudos sobre a MOS apresentam resultados promissores e servem de base para caracterização geral dos diferentes sistemas estuarinos de Pernambuco. No entanto, é necessário a continuidade e aprofundamento de pesquisas sobre o carbono orgânico dos sedimentos estuarinos do litoral Pernambucano, pois constata-se que cerca de 50% dos estuários de Pernambuco ainda carecem de pesquisas na área de sedimentologia e da sua composição orgânica não apresentando trabalhos publicados nesta temática até a presente data. Os sedimentos costeiros e o estudo da MOS merecem maior atenção no futuro, pois, do ponto de vista climático, grande parte do acúmulo de COT em sedimentos eutróficos de mangue pode ser compensado pela decomposição orgânica e a subsequente liberação de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono e óxido nitroso.

As médias de acumulação de COT (COTa) observadas neste estudo para os estuários do litoral Pernambucano são baixas a intermediárias comparadas às médias globais estimadas para sedimentos de costas dominadas por rios ou associadas a amplas áreas de solos/turfeiras de manguezais. No entanto, os estoques de COT calculados, principalmente no estuário do rio Capibaribe, foram maiores do que os estimados para a costa amazônica brasileira. Deste modo, os resultados mostram que os principais estuários da região metropolitana do Recife (Capibaribe e Jaboatão) vêm sofrendo com conteúdo de carbono orgânico total em sedimentos superficiais próximo ou acima do limite de alerta apresentado pela resolução do CONAMA nº 454/12.

O segundo artigo procurou evoluir o conhecimento sobre a MOS nos sistemas estuarinos de Ipojuca e Suape, adjacentes ao CIPS. Os resultados indicam que os sedimentos são, em geral, litoclásticos arenosos, com baixos conteúdos de MOT de origem predominantemente continental e mista condicionados pelos tipos de sedimentos e pelas entradas distintas de materiais às quais cada subambiente é submetido no presente. O sistema estuarino de Suape é influenciado pela hidrodinâmica, profundidade local e a geologia. E que as mudanças estruturais sofridas pela instalação do CIPS são refletidas na composição sedimentar.

A influência da sazonalidade no sistema estuarino de Ipojuca é mais marcada e acentuada na região do estuário superior e médio, principalmente pelo conteúdo

orgânico. No estuário de Suape, nas amostras do baixo estuário do Tatuoca, no canal interno dragado, e na região do bota fora na plataforma continental adjacente.

Na Baía de Suape existe uma distribuição espacial caracterizada por áreas preferenciais de deposição: porto interno; baía de Suape e no estuário do Massangana; e na plataforma interna. Na área estuarina-lagunar de Ipojuca, 4 sub-compartimentos: laguna de Muro Alto, baía de Ipojuca, e os estuários dos rios Ipojuca e Merepe. Essa variabilidade é resultante das alterações, principalmente na morfologia de fundo da baía do Ipojuca e da batimetria rasa.

Ao elaborar o artigo 1 e 2, foi possível comparar os valores de MOS com os demais estuários pernambucanos. Apesar de terem sido encontrados altos valores de MOT quando comparados aos outros estuários pernambucanos, pode-se dizer que os níveis de COT são baixos e estão abaixo do valor de alerta da resolução do CONAMA.

Áreas submetidas a impactos atuais no presente também foram identificadas, tais como a ST35 que é a mais confinada e impactada entre as instalações portuárias e industriais, apresenta o maior teor de COT no verão (14,7%). Esta área vem passando por estresse ambiental, que também foram relatados em outros estudos, tais como: impactos por hidrocarbonetos aromáticos de petróleo (HPAs) associados às atividades do porto e estaleiro, enriquecimento de metais (V, Ga, Pb e Zn) e a poluição orgânica por óleo oriunda da circulação de navios e geração de resíduos liberados pelas atividades dos estaleiros. A ST09 também já apresenta médios teores orgânicos (3,2%), e o estado trófico de hipertrofia que foram observados nesta pesquisa e nos estudos prévios de fitoplâncton na área.

Com o artigo 3, foi possível evoluir os conhecimentos sobre MOS na coluna sedimentar através da taxa de preenchimento sedimentar do sistema em vista ao cenário de mudanças globais associando aos impactos ambientais sofridos ao longo dos 320 anos. Foi possível confirmar que os impactos antropogênicos causados pelo uso e ocupação do solo associados à rápida urbanização e à instalação do porto de Suape foram registrados nos sedimentos através da mudança das assinaturas geoquímicas ao longo da coluna sedimentar.

De um modo geral, observa-se um aumento sensível nos teores de lamas, MO e $\delta^{15}\text{N}$ em direção ao presente na unidade III (1975 - 2017). Associado às mudanças nas condições ambientais naturais devido ao contínuo aporte de lama efetuado no Antropoceno pelo delta-intralagunar do rio Ipojuca, dentro do sistema

estuarino-lagunar local (Baía do Ipojuca). A alta taxa de sedimentação 0,65 cm.ano⁻¹ do banco de intermarés amostrado, cerca de 2,5x maior que a média mundial em manguezais, levaria a condições dinâmicas menos intensas, possibilitando a deposição de lamas terrígenas mais enriquecidas em matéria orgânica.

Pode-se observar uma mudança nos teores orgânicos com aumento em direção ao presente na unidade III. Este aumento se inicia deste a unidade II (1800 - 1975) com a fonte de MO mais enriquecida em $\delta^{15}\text{N}$ (MO de origem bacteriana), indicativa de processos de eutrofização, que podem estar associados ao desenvolvimento agrícola-urbano local desde o fim do século XIX (1890) somado aos dados do BPN que indicam sedimentos hipereutróficos quando comparados à unidade basal I. As razões C/N e $\delta^{13}\text{C}$ são indicativas de influência marinha ligeiramente maior na Unidade I (1698 - 1800), associados a sedimentos mais arenosos siliciclásticos e similares aos encontrados atualmente na laguna de Muro Alto e na Baía de Suape, o que denotaria condições paleoambientais de características sedimentares lagunares para esta unidade, e que estariam submetidas a condições hidrodinâmicas mais intensas que no presente.

A mudanças no padrão sedimentar foi mais evidente na unidade mais recente, associado às mudanças ocorridas pela instalação do porto de Suape e ao período de enchentes e inundações no estado. Pelo acúmulo de sedimentos arenosos de origem da matéria orgânica terrestre a mista com um pico do teor de N%. Uma vez que ao implantar o Porto de Suape, houve o confinamento da área, aprisionando os sedimentos e intensificados pelos eventos climáticos ocorridos na época. Que foi solucionado posteriormente através de uma abertura no beachrock no qual é refletido na mudança da granulometria, com aumento de sedimentos finos, na geoquímica, com o aumento de CaCO_3 e na mudança da fonte marinha confirmada pela mudança da assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e da razão C/N mais para o topo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. T., FREDOU, T., BARCELLOS, R. L., MELO, J. T., ARRUDA, G. N., & DE FRANÇA, E. J. 2022. **Anthropogenic influences on sedimentary geochemistry of Itapessoca Estuarine Complex, Pernambuco, Brazil.** *Environmental monitoring and assessment*, 194(1), 1-18.
- ALLEN, S. E. **Chemical Analysis of Ecological Materials**, Journal of Chromatographic Science, x +565 p. New York, 1974.
- ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.A. **Formação Barreiras. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte.** Recife: UFPE/ DE GEO, Estudos Geológicos - série B, Estudos e Pesquisas, v. 10, p. 77-88, 1991.
- ALMEIDA, P. F. C. F. DE, BARBOSA, L. R., CUNHA, T. S. DA, BERNARDES, M. C., VIDAL, L. DE O., & ROLAND, F. 2015. **Composição da Matéria Orgânica em Sedimentos do Reservatório do Funil – Resende, RJ, Brasil.** *Geochimica Brasiliensis*, 28(2), 201. <https://doi.org/10.21715>
- ALONGI, D., CHRISTOFFERSEN, P., 1992. **Benthic infauna and organism-sediment relations in a shallow, tropical coastal area: influence of outwelled mangrove detritus and physical disturbance.** *Marine ecology progress series*. Oldendorf 81, 229–245.
- ALONGI, D.M., 2014. **Carbon cycling and storage in mangrove forests.** *Annu. Rev. Mar. Sci.* 6, 195–219. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- ALONGI, DM., 2020. **Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation.** *Sci*, 2 , 67.
- APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. 2019. **Bacias Hidrográficas: Bacia do Rio Ipojuca.** Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17. Acessado em: 1 mai 2021
- ARAUJO, T. C. M.; MALMANN, D. L. B.; NUNES, K. C.; BARCELLOS, R. L. **Guia geomorfológico ilustrado do litoral de Pernambuco.** 1. ed v. 1. 184p. Curitiba, 2014.
- ARAÚJO, G. F. **Modelagem de Fontes de Matéria Orgânica para bivalves e sua contaminação por organoclorados no sistema estuarino de Rio Capibaribe, Pernambuco.** Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Oceanografia – UFPE. Pernambuco, 2018
- ARRUDA-SANTOS, R. H. DE; SCHETTINI, C. A. F.; YOGUI, G. T.; MACIEL, D. C.; ZANARDI-LAMARDO, E. **Sources and distribution of aromatic hydrocarbons in a tropical marine protected area estuary under influence of sugarcane cultivation.** v. 624, p. 935-944, *Science of the Total Environment*, 2017.

BARCELLOS, R. L. **Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar (C, N e S) de São Sebastião (SP) e Plataforma Continental adjacente.** 2000. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BARCELLOS, R. L., **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e processos sedimentar atual no sistema estuarino Lagunar de Cananéia-Iguape, SP.** São Paulo, Brasil. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica. Universidade de São Paulo. 2vs. 187p., 2005.

BARCELLOS, R.L., BERBEL, G.B., BRAGA, E DE S., FURTADO, V.V., **Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil.** Geochimica Brasiliensis (ISSN: 0102-9800), 19(1):022-036, Rio de Janeiro, 2005

BARCELLOS, R.L. & FURTADO, V.V. 2006. **Organic Matter Contents and Modern Sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, South-Eastern Brazil.** Journal of Coastal Research, v. 39, p. 1073-1077, 2006.

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

BARCELLOS, R.L.; BRAGA, E.S.; FURTADO, V.V. & BERBEL, G.B.B. **Sedimentary and Geochemical Aspects of a Refinery Impacted Coastal Area: A Case Study of the Todos os Santos Bay (Bahia, Brazil).** International Journal of Geosciences: 5, 1451-1467., 2014.

BARCELLOS, R.L.; ALVES, C.S.; FETTER-FILHO, A.F.H. **Geoquímica e dinâmica sedimentar do sistema estuarino do Rio Goiana.** 1. ed., v. 1. 89p. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Edições, 2016a

BARCELLOS, R.L.; LINS, S. R.; COELHO JR., C. **Sedimentação e Geoquímica Costeira em uma Ilha Oceânica Brasileira.** 1. ed. v. 1. 80p. Saarbrücken, Deutschland: NEA - Edições, 2016b

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, n. 75, p. 38-42. 2016c

BARCELLOS, R. L., FIGUEIRA, R. C. L.; FRANCA, E. J.; SCHETTINI, C. A. F.; XAVIER, D. A. **Changes of Estuarine Sedimentation Patterns by Urban Expansion: The Case of Middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil.** International Journal of Geosciences, 08: 514-535. 2017a.

BARCELLOS, R. L.; LINS, S. R. R. M.; COELHO JR, C.; TRAVASSOS, P. E. **F.Processos sedimentares sazonais e análise da fração arenosa no sistema ambiental do Sueste, Fernando de Noronha, Estado de Pernambuco.** Instituto

de Ciências do Mar – Labomar. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 50, n. 1, p. 42-71, jan./jul. 2017b

BARCELLOS, R. L., & SANTOS, L. D. D. **Histórico de impactos ambientais e o estado da arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE).** *Parcerias Estratégicas*, 23(46), 155-168. 2018

BARCELLOS, R. L., SANTOS, L. D. D., OLIVEIRA, T. R. S. D., OLIVEIRA, T. D. S., & SILVA, J. C. A. D. **Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).** *Parcerias Estratégicas*, 23(46), 169-188. 2018.

BARCELLOS, R. L., MELO, M.C.S.S.; SIAL, A. N. & MANSO, V. D. A. V. **Sedimentary Organic Matter Characterization on a Tropical Continental Shelf in Northeastern Brazil.** *International Journal of Geosciences*, 11(6), 393-419. 2020

BATEMAN, A.S.; KELLY, S.D.; JICKELLS, T.D. 2005. **Nitrogen isotope relationships between crops and fertilizer: Implications for using nitrogen isotope analysis as an indicator of agricultural regime.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5760-5765. <https://doi.org/10.1021/jf050374h>

BARROS, L. C. **Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape-PE.** Tese de Doutorado, PPGEIOC-UFPE, 186p. 2009.

BARROS, L.C., VALENÇA, L.M.M, SOUZA NETO, J.A., MADRUGA FILHO, J.D., COUTO JR., R. **Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região interna de Suape -PE.** *Revista de Geografia (Recife)*. Universidade Federal de Pernambuco Revista de Geografia (Recife); Vol 27, No Especial 2, 2010.

BERNARDINO, A.F; SANDERS, C.J.; BISSOLI, L. B., ET AL. **Land use impacts on benthic bioturbation potential and carbon burial in Brazilian mangrove ecosystems.** *Limnology Oceanography*, 65 (10), 2366-2376. 2020.

BOMTEMPO, E. B., COUTINHO, R. Q., BARBOSA, J. A., B, R. L., GIACHETI, H. L. & RAMOS, H. L. 2022. **Temporal monitoring of contamination in three sandy beaches from the 2019 oil spill near cabo de santo agostinho, northeastern brazil.** *Academia Brasileira de Ciências* 94. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210513>

BORDOVISIK, O. K. **Accumulation of organic matter in bottom sediments.** *Marine Geology*, 3:33-82, 1965.

BORGES, H.V., NITTROUER, C.A., 2016. **Sediment accumulation in Sepetiba Bay (Brazil) during the Holocene: a reflex of the human influence.** *Journal of Sedimentary Environments* 1, 90–106. <https://doi.org/10.12957/jse.2016.21868>

BORGES, A., SANDERS, C., SANTOS, H., ARARIPE, D., MACHADO, W., PATCHINEELAM, S., 2009. **Eutrophication history of Guanabara Bay (SE Brazil)**

recorded by phosphorus flux to sediments from a degraded mangrove area. *Marine Pollution Bulletin*. 58, 1750. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.07.025>

BOUILLON, S., RAMAN, A.V., DAUBY, P., DEHAIRS, F. 2002. **Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios of Subtidal Benthic Ecosystem (Andhra Pradesh, India).** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 901-913. <https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0864>

BOUTTON, T.W., 1991. **Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments.** In: Coleman, D.C., Fry, B. (Eds.), *Carbon Isotopes Techniques*. Academic Press, Inc., San Diego, pp. 173 – 185.

BOYD, R., DALRYMPLE, R., & ZAITLIN, B. A. **Classification of clastic coastal depositional environments.** *Sedimentary Geology*, 80(3-4), 139-150. 1992.

BOYLES, J.M.; SCOTT, A.J.; & RINE, J.M. **A logging form for graphic descriptions of core and outcrop.** *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 56, n. 1, p. 567–568, 1986.

BOYLES, J.M.; SCOTT, A.J.; & RINE, J.M. **A logging form for graphic descriptions of core and outcrop.** *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 56, n. 1, p. 567–568, 1986.

BRAGA, E. S. **Bioquímica marinha e efeitos da poluição nos processos bioquímicos.** Fundespa, 2002.

BREITHAUPT, JL, SMOAK, JM, SMITH, TJ III, SANDERS, CJ & HOARE, A. **Taxas de enterramento de carbono orgânico em sedimentos de mangue: Fortalecimento do orçamento global.** *Glob. Biogeochem. Cycles* 26 , GB3011, 2012.

CAMARGO, M. G. **Sysgran 3.0.** *Centro de Estudos do Mar–UFPR*. 2005. Disponível em <Http://200.17>, 232.

CANUEL, E. A., CAMMER, S. S., MCINTOSH, H. A., & PONDELL, C. R. **Climate change impacts on the organic carbon cycle at the land-ocean interface.** *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40, 685-711. 2012.

CANFIELD, D.E. **Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments.** *Chemical Geology*. 114, 315–329, 1994 [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90061-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90061-2).

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

CHANT, R.J. & STONER, A.W. **Particle trapping in a stratified flood-dominant estuary.** *Journal of Sea Research*, 59:29-51. 2001.

CHMURA, G. L., ANISFELD, S. C., CAHOON, D. R., & LYNCH, J. C. **Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global biogeochemical cycles*, 17(4). 2003.**

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

CHOI, W.J.; HAN, G.H.; LEE, S.M.; LEE, G.T.; YOON, K.S.; CHOI, S.M.; RO, H.M. 2007. **Impact of land-use types on nitrate concentration and $\delta^{15}\text{N}$ in unconfined ground water in rural areas of Korea. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2-4): 259- 268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.002>**

CLOERN, J.E., CANUEL, E.A. & HARRIS, D. 2002. **Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnology and Oceanography*, 47(3): 713–729.**
<https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.3.0713>

COLLINS, D., AVDIS, A., ALLISON, P. ET al.. **Dinâmica das marés e sequestro de carbono dos manguezais durante o Oligo-Mioceno no Mar da China Meridional. *Nat Commun* 8, 15698, 2017.**

CONAMA. – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 454 de 1 de novembro de 2012.** 17p. Disponível em:
http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materia_ser_dragado_em_aguas_jurisdicionais_brasileiras.pdf. Acessado em 30 mai 2020.

CONDEPE (Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco). **Caracterização do complexo estuarino-lagunar da área de Suape (Pernambuco- Brasil): síntese ecológica.** Recife, v. 1, 1983.

COOPER, J. A. G. **Sedimentation in a river dominated estuary. *Sedimentology*, 40(5), 979-1017, 1993.**

CPRH, 2011. **Plano de Monitoramento dos Recursos Hídricos Superficiais da Bacia do Rio Jaboatão.** 2011. Disponível em:
<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/jaboatao.pdf>

CONRAD, S. R., SANTOS, I. R., BROWN, D. R., SANDERS, L. M., VAN SANTEN, M. L., & SANDERS, C. J. (2017). **Mangrove sediments reveal records of development during the previous century (Coffs Creek estuary, Australia).** *Marine pollution bulletin*, 122(1-2), 441-445.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.052>

CONTI, L. A., DA MOTA, G. T., & BARCELLOS, R. L. **High-resolution optical remote sensing for coastal benthic habitat mapping: A case study of the Suape Estuarine-Bay, Pernambuco, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 193, 105205, 2020**

COSTANZO, S. D., UDY, J., LONGSTAFF, B., & JONES, A. (2005). **Using nitrogen stable isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) of macroalgae to determine the effectiveness of sewage upgrades: changes in the extent of sewage plumes over four years in Moreton Bay, Australia.** *Marine Pollution Bulletin*, 51(1-4), 212-217.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.018>

COSTA, B. V. M. da. **Distribuição da Matéria Orgânica em Sedimentos Superficiais de um estuário Tropical Hipereutrofizado (Bacia do Pina – PE, Brasil).** *Tropical Oceanography*, Recife, v. 46, n. 2, p. 25-47. 2018.

CRUZ L. R., L, M. F., NEUMANN, V. H. M., JARDIM DE SÁ, E. F., SILVA, F. C. A., FRUTUOSO JR., L. J., NASCIMENTO, M. A. L., GUEDES, I. M. G., ANTUNES, A. F., ALMEIDA, C. B., MELO, K. J. V. **As unidades siliciclásticas da sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica.** In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Rio Janeiro, 2, 2003.

CUNHA, P.P., DINIS, J., SILVA, A.F., ANDRÉ, J.N., 1995. **Evolução estuarina condicionada intervenções portuárias: Modificações recentes no sector intermédio e distal do estuário do Mondego.** *Memórias e Notícias* 120, 95–117.

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. **Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications.** *J Sediment Petrol* v. 62, p. 1130–1146, 1992.

DIAZ, R. J., & ROSENBERG, R. **Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems.** *Science*, v. 321(5891), p. 926-929, 2008.

DIESING, M., KRÖGER, S., PARKER, R., JENKINS, C., MASON, C., & WESTON, K. **Predicting the standing stock of organic carbon in surface sediments of the North–West European continental shelf.** *Biogeochemistry*, v 135, n. 1-2, p. 183-200, 2017.

DOMINGUES, E.D.C., SCHETTINI, C.A.F., TRUCCOLO, E.C. AND OLIVEIRA FILHO, J.C.D. **Hydrography and Currents on the Pernambuco Continental Shelf.** *RBRH*, 22, e43, 2017

DOMINGUEZ, J. M. L., BITTENCOURT, A. C. D. S. P., LEÃO, Z. M. D. A. N., & DE AZEVEDO, A. E. G. **Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20(1-4), p. 208-215, 1990.

DYER, K.R. **Sediment transport processes in estuaries.** In: Perillo, G.M.E. (Ed.) *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. New York, Elsevier, p. 423-449, 1995.

EMERSON, S., HEDGES, J.I., 1988. **Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments.** *Paleoceanography* 3, 621 – 634.

FABIN, C. E. G. S. DE O., ARRUDA, S. D. D' A., MANSO, V. DO A. V., LIMA, R. C. DE A. L. **Balanço sedimentar da Baía de Suape (PE) entre os anos de 1994 e**

2007: consequências ambientais. *Anuário do Instituto de Geociências*. v. 43, n. 3, 2020.

FAIRBRIDGE, R. W. **The estuary: its definition and geodynamic cycle.** 1980
FINEP/UFPE, 2009. **Monitoramento Ambiental Integrado – MAI-PE. Recife, relatório técnico.** Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, 141p. 2009.

FEITOSA, F.A.N.; NASCIMENTO, F.C.R. & COSTA, K.M.P. **Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife - PE).** *Trab. Oceanogr. UFPE, Recife*, 27 (2), 1-13. 1999

FERNANDES, L. M. B. **Avaliação dos ambientes recifais do litoral de Pernambuco, através das suas macros e megas faunas incrustantes e sedentárias.** Tese de doutorado. São Paulo, IOUSP, 165p., 2020.

FERRARO, A. G. M.; CANTARINO, A. A. A. 2011. **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.**

FIKET, Ž., PIKELJ, K., IVANIC, M., BARIŠIĆ, D., VDOVIC, N., DAUTOVIC, J., GOBAC, Ž.Ž., MIKAC, N., BERMANEC, V., SONDI, I., KNIEWALD, G., 2017. **Origin and composition of sediments in a highly stratified karstic estuary: An example of the Zrmanja River estuary (eastern Adriatic).** *Reg. Stud. Mar. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.08.001>

FINZI A.C.; COLE, J.J.; DONEY, S.C.; HOLLAND, E.A.; JACKSON, R.B. **Research frontiers in the analysis of coupled biogeochemical cycles.** *Front Ecol Environ* v. 9, p. 74–80, 2011.

FOLK, R.L. **THE Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature.** *The Journal of Geology*, v. 62, p. 344-359. 1954.

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

FONTUGNE, M.R., JOUANNEAU, J.M., 1987. **Modulation of the particulate organic carbon flux to the ocean by a macrotidal estuary evidence from measurements of carbon isotopes in organic matter from the Gironde system.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 24, 377 – 387. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(87\)90057-6](https://doi.org/10.1016/0272-7714(87)90057-6)

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*. p. 399, 2013.

FRY, B., SHERR, E.B., 1984. **D13C measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems.** *Contributions in Marine Science* 27, 13 – 47. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2_12

GALLOWAY, J. N., ABER, J. D., ERISMAN, J. W., SEITZINGER, S. P., HOWARTH, R. W., COWLING, E. B., & COSBY, B. J. **The nitrogen cascade.** *Bioscience*, 53(4), 341-356, 2003.

GARCIA, C., MUSSALEM, J., **Suape: muito mais que um porto, uma visão econômica.** Recife: Comunigraf, 2011.

GRUBER, N., & GALLOWAY, J. N. **An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle.** *Nature*, 451(7176), 293-296, 2008.

GUNTER, W.D., BACHU, S., BENSON, S.M. 2004. **The role of hydrogeological and geochemical trapping in sed-imentary basins for secure geological storage for carbon dioxide.** Geological Storage of Carbon Dioxide. *Geological Society Special*, v. 233, p. 129–145. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.233.01.0>

GUENTHER, M.; ARAÚJO, M.; FLORES-MONTES, M.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. 2015. **Eutrophication effects on phytoplankton size-fractioned biomass and production at a tropical estuary** *Marine Pollution Bulletin*, 91, 537-547, 2015

HARRIS, P., & BAKER, E. (EDS.). **Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats.** Elsevier, 2011.

HEATON, T.H.E.; STUART, M.E.; SAPIANO, M.; SULTANA, M.M. 2012. **An isotope study of the sources of nitrate in Malta's groundwater.** *Journal of Hydrology*, 414-415: 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.037>

HEDGES, J.I. & STERN, J.H. **Carbon and Nitrogen determination in carbonate-containing solids.** *Limnol. Oceanogr.* v. 29, 45-57. 1984

HILTON, M.J. **Sediment facies of an embayed costal sandy body, Paikiri, New Zealand.** *Journal of Coastal Research*, v. 11, p. 529-547, 1995.

HILTON, M.J. **Sediment facies of an embayed costal sandy body, Paikiri, New Zealand.** *Journal of Coastal Research*, v. 11, p. 529-547, 1995.

HOSSAIN, S.; EYRE, B.; MCCONCHIE, D.. **Suspended sediment transport dynamics in the sub-tropical micro-tidal Richmond River estuary, Australia.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 52, p. 529-541, 2001.

HU, G., BI, S., XU, G., ZHANG, Y., MEI, X., ANCHUN, L., 2015. **Distribution and assessment of heavy metals off the Changjiang River mouth and adjacent area during the past century and the relationship of the heavy metals with anthropogenic activity.** *Marine Pollution. Bulletin*. v. 96, p. 434–440, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010. **Banco de dados.** Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>. Acessado em 20 jul 2019.

INTÈS, A. & LE LOEUFF, P. **Les Annélides Polychètes de Côte d'Ivoire. IV. Relations Faune-sédiments.** *Océanographie Tropicale*, OSRTOM 21, p. 53-88, 1986.

IPCC. 2013. Intergovernmental Panel on Climatic Changes. **5th report.** www.ipcc.org

JOB, T., PENNY, D., & HUA, Q. **Metal enrichment in estuarine sediments proximal to acid sulfate soils as a novel palaeodrought proxy.** *Science of The Total Environment*, 612, p. 247-256. 2018.

JOB, T. **A systemic investigation of coastal acid sulfate soil acidification in the River Murray Estuary, South Australia.** Faculty of Science. University of Sydney. Doctorate thesis. 278p. 2020.

JOB, T., PENNY, D., & MORGAN, B. **Geochemical signatures of acidic drainage recorded in estuarine sediments after an extreme drought.** *Science of The Total Environment*, 141435, 2020.

KENCH, P. S. **Geomorphology of Australian estuaries: review and prospect.** *Australian Journal of Ecology*, v. 24, n. 4, p.367-380, 1999.

KOENING, M.L.; MACEDO, S.J.; TRAVASSOS, P.E.P.F. & PASSAVANTE, J.Z.O. **Biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Capibaribe (Recife - Pernambuco - Brasil).** *Arq. Biol. Tecnol.*, Curitiba, v.38, n.4, p.1071-1083, 1995.

KENDALL, C.; ELLIOTT, E.M.; WANKEL, S.D. 2007. **Tracing anthropogenic inputs of nitrogen to ecosystems.** In: R.H. Michener & K. Lajtha (ed.) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, 2a ed., Hoboken, Blackwell Publishing, p. 375-449. <https://doi.org/10.1002/9780470691854.ch1>

KNOPPERS, B., EKAU, W. & FIGUEIREDO, A. **The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport.** *Geo-Marine Letters* 19, 171–178, 1999. <https://doi.org/10.1007/s003670050106>

KRISTENSEN, E., BOUILLON, S., DITTMAR, T., MARCHAND, C., 2008. **Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: a review.** *Aquatic Botany*. 89, 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>

LAMB, A.L., WILSON, G.P. & LEING, M.J. 2006. **A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material** **A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level.** *Earth Science Reviews*, 75: 29–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.003>

LARSSONEUR, C., BOUYASSE, P., & AUFRET, J. P. **The superficial sediments of the English Channel and its Western Approach.** *Sedimentology*, 29 (6), 851-864, 1982

LEMOES, R. T. O., CARVALHO, P. S. M. & ZANARDI-LAMARDO, E. **Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development.** *Marine Pollution Bulletin*, 82, 183-188, 2014.

LIMA, M.M.R.B.F. **Evolução geoquímica ambiental e avaliação da qualidade dos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão, Pernambuco.** Tese de Doutorado, PPGEIOC-UFPE, 135p, 2011.

LI, X.D.; MASUDA, H.; KOBAYASHI, K.; ZENG, H. 2007. **Nitrogen isotope study on nitrate contaminated groundwater in the Sichuan Basin, China.** *Water, Air, and Soil Pollution*, 178: 145-156. <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9186-y>

LIMA FILHO, M. F., BARBOSA, J., & DE 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.** *Geociências* (São Paulo), 25 (1), 117-126. 2007.

LIMA, G. M. P., VILAS BOAS, G. S., COSTA, A. B., ARGOLLO, R. M. **Taxas de sedimentação recentes provenientes dos métodos Cs137 e Pb210 e estimativa de preenchimento do estuário Jacuípe, Bahia, Brasil.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n.1, p. 44-55, 2011.

LINS, P. A. M. 2002. **Hidrologia e hidrodinâmica do baixo estuário do rio Ipojuca, PE.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Oceanografia, 87p.

LINS, S. & MEDEIROS, C. 2018. **Propagação da Maré Salina em um Estuário Tropical Estrangulado, Ipojuca, NE-Brasil.** *Tropical Oceanography*, v.46, n 1 <https://doi.org/10.5914/tropocean.v46i1.237251>.

LOTZE H.K. **Historical reconstruction of human-induced changes in U.S. estuaries.** In *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, ed. RN Gibson, RJA Atkinson, JDM Gordon, 48, 267–338. 2010.

LOVELOCK, C. E., M. F. ADAME, V. BENNION, M. HAYES, J. O'MARA, R. Reef, and N. S. Santini. **Contemporary rates of carbon sequestration through vertical accretion of sediments in mangrove forests and saltmarshes of southeast Queensland, Australia,** *Estuaries Coasts*, 1–9. 2013.

MACIEL, D. C., SOUZA, J. R. B., TANIGUCHI, S., BÍCEGO, M. C., ZANARDI-LAMARDO, E. **Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urbanized tropical estuary and adjacent shelf, Northeast of Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, 101, 429 – 433. 2015.

MACIEL D.C., DE SOUZA J.R., TANIGUCHI S, BÍCEGO M.C., SCHETTINI C.A., ZANARDI-LAMARDO E. **Hydrocarbons in sediments along a tropical estuary-shelf transition area: Sources and spatial distribution.** *Marine Pollution Bulletin*. 113(1-2), 566-571, 2016.

MACIEL, D.C.; CASTRO I.B.; SOUZA, J.R.B.; YOGUI, G.T.; FILMANN, G.; ZANARDI-LAMARDO, E. **Avaliação de organotins e imposex em dois estuários da costa nordeste brasileira.** *Marine Pollution Bulletin* 126, 473-478, 2018.

MAHIQUES, M. M. DE; M. G. TESSLER; V. V. FURTADO. **Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 431-446, 1998.

MALLMANN, D.L.B.M. ET AL. **Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo do Litoral de Pernambuco. Bahia-Pernambuco-Paraíba.** Recife, Linceu, 208p. 2011.

MAKSYMOWSKA, D., RICHARD, P., PIEKAREK-JANKOWSKA, H., RIERA, P., 2000. **Chemical and isotopic composition of the organic matter sources in the Gulf of Gdansk (Southern Baltic Sea).** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51, 585 – 598. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0701>

MANSO, V.A.V., COUTINHO, P.N., PEDROSA, F.J., MACEDO, R.J., SILVA, A.C., GOIS, L.A., BARCELLOS, R.L., ARRUDA, S. D. D., SOARES-JUNIOR, C.F.A., MADRUGA-FILHO, J. D., ARRAIS, M.M.C., MADRUGA, M.M.D. PERNAMBUCO. IN: MUEHE, D., Org., **Panorama da Erosão Costeira no Brasil, Pernambuco** , Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 345-380, 2018.

MARONE, E., MACHADO, E. C., LOPES, R. M., & SILVA, E. T. da. 2005. **Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, southern Brazil.** *Brazilian Journal of Oceanography*, 53(3-4), 169-181. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592005000200007>

MARQUES, J.S.J.; RANGEL, T.P.; BRITO, F.P.; ALMEIDA, M.G.; SALOMÃO, M.S.M.B.; GOBO, A.A.R.; SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO-CASTRO, C.M.V.; COSTA, M.F.; REZENDE, C.E. 2011. **Geoquímica de metais em sedimentos da zona estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil.** *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(4): 379-387. <https://doi.org/10.5894/rgci183>

MARTINELLI L.A., OMETTO J.P.H.B., FERRAZ E.S., VICTORIA R.L., CAMARGO P.B., MOREIRA M.Z. 2009. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis.** São Paulo: Oficina de Textos. 144 p.

MARTINS, S.E.M., MENDES, A.C., 2011. **Caracterização de depósitos sedimentares recentes da porção superior da Baía de Marajó (margem leste do estuário do Rio Pará, Amazônia).** *Pesquisas em Geociências* 38, 168–180. <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.26382>.

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

MARTINS, S.E.M.M. **Estudo Paleoambiental de Sedimentos Holocênicos de dois estuários da costa de Pernambuco – NE do Brasil.** Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE, 211p.2017.

MARTINS, S. E. M., FRANÇA, M. C., SEDDIQUE, A. A., SIAL, A. N., PESSENDA, L. C. R., DE CAMARGO, P. B., SANTOS, L. R. O. C. & BARCELLOS, R.L. **Holocene vegetation changes according to sea-level and climate dynamics on tidal flats**

of the Formoso River estuary, northeastern Brazil. *Quaternary International*. 2020.

MATTHIESSEN, P., LAW, R.J., 2002. **Contaminants and their effects on estuarine and coastal organisms in the United Kingdom in the late twentieth century.** *Environmental Pollution*, v. 120, p. 739–757. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00175-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00175-6).

MATEAR R.J; WANG, Y.P.; LENTON A. **Land and ocean nutrient and carbon cycle interactions.** *Curr Opin Environ Sustainability*, 2, 258–63, 2010.

MATOS, C. R.L.; BERRÊDO, J. F.; MACHADO, W. et al. **Carbon and nutrient accumulation in tropical mangrove creeks, Amazon region.** *Marine Geology*. 429, 106317. 2020.

MATTHIESEN P, LAW RJ. **Contaminants and their effects on estuarine and coastal organisms in the United Kingdom in the late twentieth century.** *Environ Pollut.* v. n. 120, p .739 – 57, 2002.

MCLEOD, E., CHMURA, G.L., BOUILLON, S., SALM, R., BJÖRK, M., DUARTE, C.M., LOVELOCK, C.E., SCHLESINGER, W.H., SILLIMAN, B.R. **A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂.** *Front. Ecol. Environ.* 9, 552–560, 2011.

MCKEE, K.L., 1993. **Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution—reciprocal effects?** *J. Ecol.* 477–487.

MCMANUS, D.A. 1975. **Modern versus Relict sediments on continental shelf.** *Geological Society of America Bulletin*, 86:1154-1160. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1975\)86<1154:MVRST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1975)86<1154:MVRST>2.0.CO;2)

MEYERS, P. A., & EADIE, B. J. **Sources, degradation and recycling of organic matter associated with sinking particles in Lake Michigan.** *Organic Geochemistry*, 20 (1), 47-56, 1993.

MEYERS, P. A. **Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes.** *Organic Geochemistry*, 27, 213-250, 1997.

MIRANDA, L. B. D.; KJERFVE, B. & CASTRO, B. M. **Princípios de oceanografia física de estuários.** São Paulo: EDUSP. 2002.

MUÑOZ-HINCAPIÉ, M., MORELL, J. M., & CORREDOR, J. E. **Increase of nitrous oxide flux to the atmosphere upon nitrogen addition to red mangroves sediments.** *Marine Pollution Bulletin*, 44(10), 992-996, 2002.

MORAIS, A. L. C., 2021. **A formação e consolidação de um grupo de produtores de açúcar da nobreza da terra.** Capitania de Pernambuco, séculos XVI-XVIII. *Tempo*, Niterói, Vol. 28 n. 1. <http://dx.doi.org/10.1590/TEM-1980-542X2022v2801010>

MÜLLER, G. 1967. **Methods in sedimentary petrography (Part I)**, New York, Hafner Publishing.xxxxpg

MULLER, A., VOSS, M., 1999. **The palaeoenvironments of coastal lagoons in the southern Baltic Sea: II. d13C and d15N ratios of organic matter-sources and sediments.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 145, 17 – 32
[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(98\)00095-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(98)00095-9)

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts**. Baltimore: Munsell Color Company, 1975.

NAIDU, A.S., COOPER, L.W., FINNEY, B.P., MACDONALD, R.W., ALEXANDER, C., SEMILETOV, I.P., 2000. **Organic carbon isotope ratios (d13C) of Arctic Amerasian Continental shelf sediments.** *International Journal of Earth Sciences* 89, 522 – 532. <https://doi.org/10.1007/s005310000121>

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

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 Com-plex Implantation.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 70, n. 2, p. 313-323, 1998.

NEUMANN, G., ALFIERI, L., WYSER, K., MENTASCHI, L., BETTS, R.A., CARRAO, H., SPINONI, J., VOGT, J., FEYEN, L. **Global changes in drought conditions under different levels of warming.** *Geophysical Research Letters*, 45, 3285-3296, 2018.

OLIVEIRA-FILHO, J.C. **Processos de transporte e retenção de sedimentos em estuário de Ria com pequenas bacias hidrográficas.** Pré-tese de doutorado. PPGEOC -UFPE. 39p. 2020.

OLIVEIRA, T. S. **Sedimentação na região de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).** Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE, 82p., 2019.

OLIVEIRA, L. E. E. DE, SANTOS, L. D. DOS, MONTES, M. DE J. F., BARCELLOS, R. L.**Influência da Maré na Variabilidade Sedimentar da Barra de Catuama, Ilha de Itamaracá, Pernambuco – Brasil.** *Estudos Geológicos*. 27(2), 2017.

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, IMPRESSO)*, 2019.

OLIVEIRA, T.S. & BARCELLOS, R.L. **Caracterização Sedimentológica e Geoquímica do Apicum do Sistema Estuarino do Rio Itapessoca, Goiana, Pernambuco, Brasil.** Tropical Oceanography Revista online, 2014.

OLIVEIRA, T. S. **Processo Sedimentar Atual e Distribuição da Matéria Orgânica no Sistema Estuarino do Rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (RecifePE).** Dissertação de mestrado, Pósgraduação em Oceanografia - UFPE. 113p.2014.

OLIVEIRA, T.S.; BARCELLOS, R.L.; SCHETTINNI, C.A.F. & CAMARGO, P.B. 2014. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife-PE, Brasil.** *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 14, n.3, p. 399-411, 2014.

OLIVEIRA, T.S.; CAMARGO, P. B.; BARCELLOS, R. L. **Distribution and origin of organic matter in a tropical estuarine system associated to a port area in Northeastern Brazil.** ECSA 57 Changing estuaries, coasts and shelf systems - Diverse threats and opportunities. Perth, Australia.2017.

OLIVEIRA, T. S., XAVIER, D. D. A., SANTOS, L. D., PASSOS, T. U., SANDERS, C. J., FRANÇA, E. J. & BARCELLOS, R. L. **Reconstructing the history of environmental impact in a tropical mangrove ecosystem: A case study from the Suape port-industrial complex, Brazil.** *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101747, 2021.

PACHAURI, R. K., & MEYER, L. A.. **Team Core.** IPCC: Geneva, 2014.

PARDAL, E. C. Aspectos sedimentológicos e geoquímicos do estuário do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco. Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE. 153p, 2019.

PAIVA, A. C. G. & ARAÚJO, M. E. 2010. **Environmental characterization and spatial distribution of fish fauna in estuaries in the State of Pernambuco, Brazil.** *Tropical Oceanography*, v. 38, 1-46. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v38i1.5159>

PARDAL, E. C. **Aspectos sedimentológicos e geoquímicos do estuário do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco.** Tese de Doutorado, PPGEOC-UFPE. 153p, 2019.

PARDAL, E. C.; XAVIER, D. A.; OLIVEIRA, I. M. V.; FLORES-MONTES, MANUEL, 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 (UFRGS)*, V. 46, p. E0852, 2019.

PAROPKARI, A.L., IYER, S.D., CHAUHAN, O.S. & PRAKASH BABU, C. 1991. **Depositional Environments Inferred from Variations of calcium Carbonate, Organic Carbon, and Sulfide Sulfur: A core from Southeastern Arabian Sea.** *Geo-Marine Letters*, 11: 96–102. <https://doi.org/10.1007/BF02431036>

PASSOS, T.; PENNY, D.; SANDERS, C.; FRANÇA, E.; OLIVEIRA, T.; SANTOS, L.; BARCELLOS, R. **Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by**

rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil, Marine Pollution Bulletin, V. 166, ISSN 0025-326X, 2021.

PASSOS, T., PENNY, D., BARCELLOS, R., SANDERS, C.J., 2022. **Assessment of the temporal retention of mercury and nutrient records within the mangrove sediments of a highly impacted estuary**. *Environmental Research*, 112569. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112569>

PAULO, J. G. ET AL. **Allochthonous and autochthonous organic matter in an urban tropical estuarine area of northeastern Brazil**. *Journal of Coastal Research*, n. 64, p. 1798–1801, 2011.

PEKEL, J.F., COTTAM, A., GORELICK, N., BELWARD, A.S. **High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes**. *Nature* 540 p. 418-422, 2016. <https://doi.org/10.1038/nature20584>

PEJRUP, M. **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach**. *Tide-influenced sedimentary environments and facies*. Reidel, Dordrecht, p. 289-300, 1988.

PÉREZ, A., LIBARDONI, B.G., SANDERS, C.J., **Factors influencing organic carbon accumulation in mangrove ecosystems**. *Biol. Lett.* v. 14 n. 10, 2018. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0237>.

PÉREZ, A., MACHADO, W., GUTIÉRREZ, D., SALDARRIAGA, M.S., SANDERS, C.J., 2020A. **Shrimp farming influence on carbon and nutrient accumulation within Peruvian mangroves sediments**. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 243, 106879 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106879>

PÉREZ, A., MACHADO, W., GUTIERREZ, D., SMOAK, J.M., BREITHAUPT, J.L., SALDARRIAGA, M.S., SANDERS, L., MAROTTA, H., SANDERS, C.J., 2020b. **Carbon and nutrient accumulation in mangrove sediments affected by multiple environmental changes**. *Journal of Soils and Sediments* 1–6 <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02612-4>

PERILLO, G. M. E. **Geomorphology and sedimentology of the estuaries: an introduction**. In Estuaries: Perillo, G.M.E. (ed), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Amsterdam: Elsevier Science, cap 1, 1-16 p.1995.

PERNAMBUCO, 1998. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente. Diretoria de Recursos Hídricos. CIRILO, Jose Almir (coord.), **Plano Estadual de Recursos Hídricos - Documento Síntese**. Recife: 223 p.

PERNAMBUCO, GOVERNO DO ESTADO DE, 1978. **Suaape: Ecologia E Cultura**. Recife: Secretaria de Planejamento/Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco – CONDEPE, p. 36.

PESSOA, V. T.; NEUMANN-LEITÃO, S.; GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, A.P. & PORTO-NETO, F. F.. **Comunidade zooplancônica na Baía de Suaape e nos**

estuários dos rios Tatuoca e Massangana, Pernambuco, (Brasil). Ver Bras. Engenharia de Pesca v. 4, n.1, p. 80-94, 2009.

PIRES ADVOGADOS & CONSULTORES. 2000. **Avaliação de Impacto ambiental. Modernização e ampliação do porto de Suape.** Recife.

PORRITT, E. L., JONES, B. G., PRICE, D. M., & CARVALHO, R. C. **Holocene delta progradation into an epeiric sea in northeastern Australia.** *Marine Geology*, 422, 106114, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106114>

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

PORTO DE SUAPE, Porto de Suape. URL. 2020. <http://www.suape.pe.gov.br>, acessado: 12 de junho 2020.

PRASAD, K.B.K., DITTMAR, T., RAMANATHAN, A.L., 2010. **Organic matter and mangrove productivity.** In: Ramanathan, A.L., et al. (Eds.), *Management and Sustainable Development of Coastal Zone Environments*. Springer-Verlag, pp. 175–193. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-3068-9_12.

RABALAIS, N.N.; DIAZ, R.J.; LEVIN, L.A., TURNER, R.E., GILBERT, D; ZHANG, J. 2010. **Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia.** *Biogeosciences* v. 7, p.585–619. 2010. <https://doi.org/10.5194/bg-7-585-2010>

RAMOS, A.M., SANTOS, L.A.R. AND FORTES, L.T.G. (EDS.). **Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990.** Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, 2009.

RANJAN, R.K., ROUTH, J., KLUMP, J.V., RAMANATHAN, A.L., 2015. **Sediment biomarker profiles trace organic matter input in the pichavaram mangrove complex, southeastern India.** *Mar. Chem.* 171, 44–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2015.02.001>.

RASHID, M. A. **Physico-chemical Characteristics of Marine Humic Compounds.** In: *Geochemistry of Marine Humic Compounds*. Springer New York, p. 66-107. 1985.

RÉGIS, C.G., SOUZA-SANTOS, L.P., YOGUI, G.T., MORAES, A.S. & SCHETTINI, C.A.F. **Use of *Tisbe biminiensis* nauplii in ecotoxicological tests and geochemical analyses to assess the sediment quality of a tropical urban estuary in northeastern Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*. v. 137, p. 45-55, 2018. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.10.011

RESENDE, J.S.S. **Caracterização de fontes de distribuição de Matéria Orgânica no sedimento do estuário do Capibaribe (Pernambuco, Brasil) através de marcadores elementares, isotópicos e moleculares.** Dissertação de mestrado em Oceanografia. PPGO (UFPE), 2015.

RESENDE, J.S.S. & CRAVEIRO, N. **Análise Granulométrica e do Teor de Matéria Orgânica em Sedimentos do Estuário do Rio Capibaribe – PE.** Estudos Geológicos 26(2):34-45 doi: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v. 26, n. 2, p. 34-45, 2016.

RICART, A. M.; PÉREZ, M.; ROMERO, J. 2017. **Landscape configuration modulates carbon storage in seagrass sediments.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 185, p. 69-76, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.12.011>

ROCHA, D., 2000. **A dialética do local e do global: os atores e as metamorfoses dos lugares no litoral do cabo de Santo Agostinho.** In: Dissertação (Mestrado em Geografia) 217 pgs. Recife, UFPE.

ROGERS, K., SAINTILAN, N. COPELAND, C. **Managed retreat of saline coastal wetlands: Challenges and opportunities identified from the Hunter River Estuary, Australia,** Estuaries Coasts, v. 37, n.1,p. 67–78, 2013.<https://doi.org/10.1007/s12237-013-9664-6>

ROMANKEVICH, E. A. **Geochemistry of Organic Matter in the Ocean.** New York, Springer-Verlag, 334p., 2013.

ROVAI, A.S., TWILLEY, R.R., CASTAÑEDA-MOYA, E. et al. **Global controls on carbon storage in mangrove soils.** Nature Clim Change 8, p. 534–538,2018. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0162-5>

SAENGER, P., HEGERL, E., DAVIS, J., 1983. **Global status of mangrove ecosystems.** Commission on Ecology Papers Number 3. Gland Switzerland: IUCN. The Environmentalist 3.

SAINTILAN, N., ROGERS, K., MAZUMDER, D. WOODROFFE, C.. **Allochthonous and autochthonous contributions to carbon accumulation and carbon store in southeastern Australian coastal wetlands,** Estuarine Coastal Shelf Sci.,v. 128, p. 84–92, 2013.

SAITO, R. T.; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, V & CUNHA, I. I. L. **Geochronology of sediments in the Cananéia-Iguape estuary and in southern continental shelf of São Paulo State, Brazil.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 250, n.. 1, p.109–115, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1013228616973>

SAMPAIO, L; FREITAS, R; MAGUAS, C; RODRIGUES, A; QUINTINO, V. **Coastal sediments under the influence of multiple organic enrichment sources: An evaluation using carbon and nitrogen stable isotopes.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, p. 272–282, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.09.008>

SANDERS, C.J., SMOAK, J.M., NAIDU, A.S., SANDERS, L.M., PATCHINEELAM, S.R., 2010. **Organic carbon burial in a mangrove forest, margin and intertidal mud flat.** Estuar. Coast. Shelf Sci. 90, 168–172 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.08.013>

SANDERS, C.J., EYRE, B.D., SANTOS, I.R., MACHADO, W., LUIZ-SILVA, W., SMOAK, J.M., BREITHAUPT, J.L., KETTERER, M.E., SANDERS, L., MAROTTA, H., 2014. **Elevated rates of organic carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in a highly impacted mangrove wetland.** *Geophysical Research Letters* 41, 2475–2480. <https://doi.org/10.1002/2014GL059789>

SANTOS, L.D.; BARCELLOS, R.L. **Sedimentação atual do estuário do Rio Formoso - PE (Brasil).** 1. ed. Saarbrücken, Alemanha: NEA- Novas Edições Acadêmicas, v. 1, 113 p., 2017.

SANTOS, L. D.; VEIGA, T. T; CAMARGO, P.B.; BARCELLOS, R.L. **Influence of the industrial port complex of Suape on seasonal distribution of estuarine surficial sediments and organic matter.** International Conference on Coastal Sediments 2019. https://doi.org/10.1142/9789811204487_0155.

SANTOS, T.G.; BEZERRA-JUNIOR, J.L.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N. **Dinâmica da biomassa fitoplânctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE).** Revista Brasileira de Engenharia de Pesca (ISSN: 1980-587X), São Luis, MA, Brasil. v. 4, n. 1, p. 95-109, 2009.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRON-MOLERO, G., SOARES, M., DE-ROSA, T., 2000. **Brazilian mangroves.** *Aquat. Ecosys. Health Manag.* 3, 561–570. [https://doi.org/10.1016/S1463-4988\(00\)00052-X](https://doi.org/10.1016/S1463-4988(00)00052-X)

SCHETTINI, CARLOS AUGUSTO FRANÇA, MIRANDA, JOSINEIDE B. DE, VALLE-LEVINSON, ARNOLDO, TRUCCOLO, ELIANE C., & DOMINGUES, ERNESTO C. **A circulação do Estuário do Baixo Capibaribe (Brasil) e suas implicações para o transporte de escalares.** *Jornal Brasileiro de Oceanografia*, v 64, n. 3), p. 263-276, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592016119106403>

SCHETTINI, C.A.F., DOMINGUES, E.C., TRUCCOLO, E.C., OLIVEIRA FILHO, J.C., MAZZINI, P.L.F. **Seasonal variability of water masses and currents at the eastern Brazilian continental shelf (7.5–9° S).** *Regional Studies in Marine Science*, v.16p. 131-144, 2017.

SCHUBEL JR & CARTER H.H. 1984. **Fine-grained suspended sediment.** In: KENNEDY VS (Ed.). *The estuary as a filter.* Orlando, Academic Press, Inc., p. 81-105, 1984

SENEVIRATNE, S. I., ET al. **Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental, 2012. Panel on Climate Change (IPCC), edited by C. B. Field, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., and New York.p. 109–230,

SHEPARD, F.P. & D. G. MOORE. 1954. **Sedimentary Environments Differentiated by Coarse Fraction Analysis.** *Bull. An. Assoc. Petrol. Geol.*, v.38, n. 8, p.1792-1802, 1954.

SILVA, A. F., KLEIN, A. H. F., PETERMANN, R. M., MENEZES, J., SPERB, R., & GHERARDI, D. **Índice de sensibilidade do litoral (ISL) ao derramamento de óleo, para a Ilha de Santa Catarina e áreas do entorno.** *Brazilian Journal for Aquatic Sciences and Technology*, v.12, n.2, p. 73-89. 2008.

SILVA, J. B., GALVÍNIO, J. D., DE BARROS CORRÊA, A. C., DA SILVA, D. G., & MACHADO, C. C. C. **Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM (Geomorphologic Classification of Estuaries of the State of Pernambuco (Brazil) Based on Landsat 5 TM Images).** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, 1, p. 118-133, 2011.

SLOSS, C.R., JONES, B. G., MURRAY-WALLACE, C. V., BOUVET, M. 2019 **The geomorphological evolution of a saline coastal lagoon on the southeast coast of Australia: Swan Lake, New South Wales,** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224, 301-313. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.05.009>.

SOUZA, M. F., LONGHINI, C. M., SILVA, A. M., & LENTINI, C. A. D. 2012. Ciclo do Carbono: **Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos.** *Revista Virtual de Química*, v. 4, n.5, p. 566-582, 2012.

STATHAM, P.J. **Nutrients in estuaries—an overview and the potential impacts of climate change,** *Sci Total Environ.*, v. 434, p. 213-227, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.088>

STEIN, R., MACDONALD, R.W. (Eds.), 2004. **The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean.** Springer, Berlin.

SUAPE, 2018. **Complexo industrial Portuário.** In: Relatório de Sustentabilidade de Suape 2017. Disponível em Acesso em 12 jan. 2022

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

SUMMERHAYES, C.P., FAINSTEIN, R & ELLIS, J.P. **Continental margin off Sergipe and Alagoas, Northeast Brazil: a reconnaissance geophysical study of morphology and structure.** *Mar. Geol.*, v. 20: p. 345-361. 1976. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(76\)90112-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(76)90112-2)

THOM, B.G., 1967. **Mangrove ecology and deltaic geomorphology: Tabasco, Mexico.** *The Journal of Ecology* 301–343. . <https://doi.org/10.2307/2257879>

TOMÉ, M. E. T. R; LIMA FILHO, M. F. DE; NEUMANN, V. H. DE M. L. **Análise estratigráfica do Albiano-Turoniano da Bacia de Pernambuco: Considerações sobre a paleogeografia e geração de hidrocarbonetos.** UNESP Universidade Estadual de São Paulo, *Geociências*, v. 25, N. 1, 2006.

TRAVASSOS, R. K.; MONTES, M. J. F.; COSTA, B. V. M.; SILVA JR., J. M.A **Influência de Efluentes Urbanos na Razão C / N Elemental em uma Área**

Costeira Tropical do Nordeste do Brasil. Journal of Coastal Research. v. 75, p. 168–172, 2016. <https://doi.org/10.2112/SI75-034.1>

TRIMMER, M., GREY, J., HEPPELL, C. M., HILDREW, A. G., LANSDOWN, K., STAHL, H., & YVON-DUROCHER, G. **River-bed carbon and nitrogen cycling: state of play and some new directions.** *Science of the total environment*, v 434, p. 143-158, 2012.

TYSON, R.V. (1995) **Sedimentary Organic Matter.** Chapman & Hall, London, 589 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0739-6>

VALLE-LEVINSON, A. **Contemporary Issues in Estuarine Physics.** Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

VASCONCELLOS, A. G. P. P. 2019. **Geoquímica Sazonal do fósforo sedimentar dos estuários Ipojuca e Massangana, complexo industrial portuário de Suape – PE.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Oceanografia. 98 p., 2019.

VEIGA, T. T.; SANTOS, L. D.; BARCELLOS, R. L. **Análise da dinâmica sedimentar espaço-temporal dos estuários do Ipojuca e Merepe (PE) com base nos componentes da fração arenosa (0,25mm e 0,50mm).** In: Clécio Danilo Dias da Silva; Danyelle Andrade Mota. (Org.). *A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2.* 1ª ed. Ponta Grossa PR: Atena, 2021, v. 2, p. 1-18. . <https://doi.org/10.22533/at.ed.2632104101>

VITAL, H., SILVEIRA, I.M.D. AND AMARO, V.E.. **Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira: Área Guamaré a Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológicos e Sensoriamento Remoto.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, p. 233-241, 2005.

WADA, E., HATTORI, A., 1991. **Nitrogen in the Sea: Forms, Abundances, and Rate Processes.** CRC Press, Boca Raton, FL. 208 P.

WALKER, R.G. **Facies, facies models and modern stratigraphic concepts.** In: Walker, R.G. & James, N.P. (Eds.) *Facies Models – Response to sea Level Change.* Ontario, Geological Association of Canadá. p.1-14, 1992.

WALKER, R.G. **Facies models revisited.** In: Posamentier, H.W. & Walker, R.G. (Eds.) *Facies models revisited.* Tulsa, Oklahoma, U.S.A, Society for Sedimentary Geology. SEPM Special Publication, v. 84, p. 1-17, 2006.

WOLANSKI, E. **Hydrodynamics of mangrove swamps and their coastal waters.** *Hydrobiologia* v. 247, p. 141–161 , 1992.

WOLANSKI, E., DAY, J. W., ELLIOTT, M., & RAMESH, R. (Eds.). **Coasts and Estuaries: The Future.** Elsevier, 2019.

WOODROFFE, C. **Mangrove sediments and geomorphology**, in Coastal and Estuarine Studies: Tropical Mangrove Ecosystem, edited by A.I. Robertson and D. M. Alongi, AGU, Washington, D. C. p. 7–41, 1992.

WOODROFFE, C. D. ***Coasts: form, process and evolution***. Cambridge University Press, 2002.

XAVIER, D. A.; BARCELLOS, R. L.; FIGUEIRA, R. C. L.; SCHETTINI, C. A. F. **Evolução sedimentar do estuário do rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização**. Tropical Oceanography (Online), v. 2, p. 74-88, 2016.

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

ZANARDI-LAMARDO, ELIETE ET AL. **Variabilidade intratidal e transporte de hidrocarbonetos aromáticos de petróleo em um sistema estuarino tropical antropizado: o estuário de Suape (8.4S 35W)**. Braz. j. oceanogr. [conectados]. vol.66, n.1, pp.47-57, 2018. ISSN 1982-436X. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592018148006601>

ZIMMERMAN, A. R., CANUEL, E. A.. **A geochemical record of eutrophication and anoxia in Chesapeake Bay sediments: Anthropogenic influence on organic matter composition**, Mar. Chem., v. 69, n. 1-2, p. 117–137, 2000.