



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DAVI PINHEIRO DE CARVALHO

Monitoramento sazonal dos componentes da fração arenosa (0,250mm e 0,500mm) em áreas afetadas pelo derramamento de óleo na costa de Pernambuco.

Recife
2023

DAVI PINHEIRO DE CARVALHO

Monitoramento sazonal dos componentes da fração arenosa (0,250mm e 0,500mm) em áreas afetadas pelo derramamento de óleo na costa de Pernambuco.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos

Coorientador: Ms. Francisco Cordeiro do Nascimento Neto

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

de Carvalho, Davi Pinheiro.

Monitoramento Sazonal dos Componentes da Fração Arenosa (0,250mm e 0,500mm) em Áreas Afetadas Pelo Derramamento de Óleo na Costa de Pernambuco / Davi Pinheiro de Carvalho. - Recife, 2023.

68 : il., tab.

Orientador(a): Roberto Lima Barcellos

Cooorientador(a): Francisco Cordeiro Nascimento Neto

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Oceanografia - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Oceanografia Geológica. 2. Sedimentologia Costeira. 3. Derramamento de Óleo. 4. Monitoramento Ambiental. I. Barcellos, Roberto Lima . (Orientação). II. Nascimento Neto, Francisco Cordeiro. (Coorientação). III. Título.

550 CDD (22.ed.)

DAVI PINHEIRO DE CARVALHO

Monitoramento sazonal dos componentes da fração arenosa (0,250mm e 0,500mm) em áreas afetadas pelo derramamento de óleo na costa de Pernambuco, NE do Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em: 07/03/2023.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. José Antônio Barbosa – Avaliador
Departamento de geologia – Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Tereza C. M. de Araújo (DOCEAN-UFPE) – Avaliador
Departamento de oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Suplente)
Departamento de Oceanografia - Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Ronaldo e Gisana, que sofreram com a saúde, mas que foram perseverantes e sempre deram todo o apoio possível para dar um curso superior a seus filhos.

Agradeço a meu irmão, Ádamo, que foi meu parceiro de quarto durante todo o tempo aqui em Recife. Sempre esteve comigo quando precisei, sendo família, meu porto seguro que me ajudava a desopilar.

Um agradecimento a todos os docentes que passaram os conhecimentos necessários para que eu estivesse apto a me tornar um oceanógrafo. Em especial, meu professor e orientador, Roberto Barcellos, por ter me aceitado como parte do grupo de pesquisa e ter tido toda paciência me acompanhado ao longo desses anos. Parabéns pela didática e o empenho em ensinar, a academia precisa de mais professores como o senhor.

Também agradeço ao meu co-orientador, Francisco Cordeiro, por aceitar essa missão e ter dado todo o suporte necessário na confecção deste trabalho.

Agradeço a minha amiga e companheira de laboratório, Thamiris Tárçila, pessoa que tornou tudo mais leve. Sempre me ajudou, fez companhia e dividiu comigo diversos momentos de aprendizado. A ti, não tenho muito mais que dizer, obrigado!

Agradeço a todos os amigos que estiveram comigo ao longo desses quase 6 anos de graduação. Em especial todos os membros do grupo "Oceanolaguinhos" e do grupo jovem Kyrios, vocês foram essenciais em minha vida, presentes que Deus me deu.

Agradeço ao meu parceiro de Empresa Júnior, Eduardo Araújo, que é uma das melhores pessoas que conheço. Obrigado por sua amizade e parabéns por ser quem você é. Trabalhar contigo na EJ foi uma das melhores experiências da minha vida.

Agradeço ao programa de bolsas PiBic-CNPq-UFPE e ITI-A-CNPq-UFPE pelo auxílio durante dois anos concedidos ao longo da graduação. Ao suporte proporcionado pelo projeto científico: i) "*Impactos do Derrame de Petróleo nos Ecossistemas Costeiros (recifes, estuários e prados de angiospermas marinhas) no Litoral de Pernambuco*" - FACEPE APQ-0628-1.08/19" coordenado pelo Prof. Dr. Jesser Fidelis Filho (DOCEAN-UFPE) e, principalmente pelos projetos ii)

“Potencial de estoque de carbono em estuários tropicais: contexto atual e perspectivas futuras” (Pq2-CNPq: proc. n° 313166/2020-0); iii) *“Efeitos crônicos do derramamento de óleo sobre os ecossistemas costeiros (recifes, estuários e prados de angiospermas marinhas) do litoral de Pernambuco”* (CNPq: proc. n° 440826/2020-9), coordenados pelos Professores do DOCEAN-UFPE Roberto Lima Barcellos e Gilvan Takeshi Yogui, respectivamente.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a Ele, que esteve comigo em todos os momentos, sendo meu melhor amigo e me segurando, dando apoio quando eu já não aguentava mais.

RESUMO

No ano de 2019 o litoral brasileiro foi assolado pelo derramamento de óleo equivalente a mais de 5.000 toneladas. A costa pernambucana foi atingida em quase todos seus municípios litorâneos, causando impactos socioeconômicos e ambientais em toda costa. Diversos tipos de ambientes costeiros foram atingidos, incluindo os estuários, que são os locais sensíveis ao derrame de óleo. Com isso, foram estudados três estuários pernambucanos: Itapessoca-Catuama-Canal de Santa Cruz (7,67°S/32,84W), Suape-Rio Massangana (8,35°S/34,96°W) e Rio Formoso (8,69°S/35,09°W). Tem-se como objetivo deste estudo a comparação sedimentar em relação à geoquímica básica destes ambientes, atingidos pelo derramamento de óleo de 2019, a fim de obter uma caracterização sazonal após o desastre ambiental ocorrido. Foram analisados parâmetros como granulometria, teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) e matéria orgânica total (MOT), análise da fração arenosa e morfoscopia. As coletas ocorreram em dois períodos distintos, seco (novembro/2021) e chuvoso (abril-maio/2022), sendo 6 pontos em cada um dos 3 estuários, totalizando 36 amostras. As amostras apresentaram hidrodinâmica muito alta (IVA e IVB), predominando sedimentos arenosos, onde a fácies areia litoclástica (AL1b) é a mais comum. A lama está associada a locais mais abrigados e de menor energia, como manguezais, prados e praias no interior dos estuários, que apresentam lamas terrígenas (LL1) e margas arenosas (LL2). Os teores de MOT são baixos, com média de 2,95%, estando acima de 6% em apenas 5 amostras, relacionados à vegetação de mangue. Por outro lado, os teores de CaCO₃ são mais altos, tendo média de 17,90%, estando acima de 20% em 10 amostras, relacionados a recifes de coral e prados. A composição dos sedimentos apresenta baixa variação, sendo o quartzo o principal componente, seguido por fragmentos vegetais e carbonáticos. Um ponto apresenta sedimentos com maior influência marinha, com os demais apresentando influência predominantemente continental. Quanto à morfologia, prevaleceram partículas com textura polidas, alta esfericidade e arredondamento subanguloso e anguloso, típicos de transporte pelo aporte fluvial e retrabalhamento subaquoso estuarino. Não foram encontrados fragmentos de óleo em nenhuma amostra, mostrando uma recuperação das zonas costeiras monitoradas. Entretanto, é necessário a continuidade do monitoramento sazonal, pois pode ocorrer a exumação do óleo a partir de processos de dragagem, bioturbação e por ação de tempestades.

Palavras-chave: Estuário; Derramamento de óleo; Sedimentologia costeira; Monitoramento ambiental

ABSTRACT

In 2019, the Brazilian coast was devastated by an oil spill equivalent to more than 5.000 tons. Pernambuco coast was affected in almost all of coastal municipalities, causing socioeconomic and environmental impacts along the entire coast. Several types of coastal environments were affected, including estuaries, which are susceptible by oil spill events. Thus, it have been chosen 3 estuaries from Pernambuco: Itapessoca-Catuama-Canal de Santa Cruz (7.67°S/32.84W), Suape-Rio Massangana (8.35°S/34.96°W) and Rio Formoso (8.69°S/35.09°O). The objective of this research is to compare sediments in relation to the basic geochemistry of environments, affected by the 2019 oil spill, in order to obtain a seasonal characterization of the environment after this disaster. Parameters such as grain size, calcium carbonate (CaCO₃) and total organic matter (TOM), coarse fraction analysis and morphoscopy were analyzed. The samples collections took place in two seasons, dry (November/2021) and rainy (April-May/2022), being predominant by sandy sediments where lithoclastic sand (AL1b) is most abundant. The mud is associated with more with 6 points in each of the 3 estuaries, totaling 36 samples. As demonstrated, very high hydrodynamics (IVA and IVB) prevails sheltered and less energetic places, such as mangroves, seagrasses meadows and estuarine beaches, where it presents terrigenous mud (LL1) and sandy marl (LL2). TOM contents are low, with an average of 2.95%, remaining above 6% in only 5 samples, being related to the mangrove. On the other hand, the CaCO₃ contents are higher, with an average of 17.90%, remaining 20% in 10 samples, being related to coral reefs and seagrasses meadows. The composition of the sediments shows low variation, with quartz being the main component, followed by vegetal and carbonate fragments. One point has marine influence, others are influenced by continental sedimentation. For the morphology, particles with a polished texture, high sphericity and subangular and angular roundness prevailed, typical from transport by river input and estuarine subaqueous reworking. No oil fragments were found in the samples, showing a recovery of the monitored coastal zones. However, seasonal monitoring is important due to a possible oil exhumation caused by trawling, bioturbation and storms.

Key words: Estuary; Oil spill; Coastal sedimentology; Environmental monitoring

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo. (A) Mapa do Brasil. (B) Litoral do estado de Pernambuco. (C) Área de Estudo, Catuama. (D) Área de Estudo, Suape. (E) Área de Estudo, Rio Formoso.	18
Figura 2 –	Localização dos pontos de coleta da área de Catuama.	19
Figura 3 –	Localização dos pontos de coleta de amostra superficial de sedimento do sistema estuarino de Suape.	20
Figura 4 –	Localização de pontos de coleta de amostras de sedimentos superficiais da área Rio Formoso.	22
Figura 5 –	Fluxograma das etapas metodológicas para obtenção dos dados sedimentares nos pontos de coletas de Catuama (Goiana), Suape (Ipojuca/Cabo de Santo Agostinho) e Rio Formoso (Sirinhaém/Rio Formoso).	23
Figura 6 –	Diagrama de Krumbein & Sloss (1963), modificado por Ulisoy (2023). Eixo x= arredondamento, Eixo y= esfericidade. Fonte: Ulisoy (2023).	25
Figura 7 –	Larssoneur (1977) modificada por Freire et al. (1997).	26
Figura 8 –	Diagrama ternário de Pejrup (1988).	26
Figura 9 –	Distribuição dos componentes sedimentares das frações de 0,250mm e 0,500mm na região de Catuama nos meses de nov/2021 e abril-maio/2022.	33
Figura 10 –	Distribuição dos índices BM das frações de 0,250mm e 0,500mm na região de Catuama nos meses de nov/2021 e abril-maio/2022.	33
Figura 11 –	Distribuição dos componentes sedimentares das frações de 0,250mm e 0,500mm na região de Suape nos meses de nov/2021 e abril-maio/2022.	38
Figura 12 –	Distribuição dos índices BM das frações de 0,250mm e 0,500mm na região de Suape nos meses de nov/2021 e abril-maio/2022.	38
Figura 14 –	Distribuição dos componentes sedimentares das frações de 0,250mm e 0,500mm na região de Suape nos meses de nov/2021 e abril-maio/2022.	43
Figura 15 –	Distribuição dos índices BM das frações de 0,250mm e 0,500mm na região de Suape nos meses de nov/2021 e abril-maio/2022.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Granulometria de Catuama, Novembro/2021.	29
Tabela 2 –	Granulometria de Catuama, Abril-Maio/2022.	29
Tabela 3 –	Teor de CaCO ₃ e MOT de Catuama, Novembro/2021.	30
Tabela 4 –	Teor de CaCO ₃ e MOT de Catuama, Abril-Maio/2022.	31
Tabela 5 –	Morfometria dos grãos de Catuama, Novembro/2021. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).	31
Tabela 6 –	Morfometria dos grãos de Catuama, Abril-Maio/2022. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).	32
Tabela 7 –	Granulometria de Suape, Novembro/2021.	34
Tabela 8 –	Granulometria de Suape, Abril-Maio/2022.	35
Tabela 9 –	Teor de CaCO ₃ e MOT de Suape, Novembro/2021.	36
Tabela 10 –	Teor de CaCO ₃ e MOT de Suape, Abril-Maio/2022.	36
Tabela 11 –	Morfometria dos grãos de Suape, Novembro/2021. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).	37
Tabela 12 –	Morfometria dos grãos de Suape, Abril-Maio/2022. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).	37
Tabela 13 –	Granulometria de Rio Formoso, Novembro/2021.	39
Tabela 14 –	Granulometria de Rio Formoso, Abril-Maio/2022.	40
Tabela 15 –	Teor de CaCO ₃ e MOT de Rio Formoso, Novembro/2021.	40
Tabela 16 –	Teor de CaCO ₃ e MOT de Rio Formoso, Abril-Maio/2022.	41
Tabela 17 –	Morfometria dos grãos de Rio Formoso, Novembro/2021. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).	42
Tabela 18 –	Morfometria dos grãos de Rio Formoso, Abril-Maio/2022. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivos Específicos	16
2	ÁREA DE ESTUDO	16
2.1	CATUAMA.....	18
2.2	SUAPE.....	20
2.3	RIO FORMOSO.....	21
3	MÉTODOLOGIA	22
3.1	ETAPA DE CAMPO.....	22
3.2	ANÁLISES LABORATORIAIS	23
3.3	TRATAMENTO DE DADOS.....	25
4	RESULTADOS	27
4.1	CATUAMA.....	28
4.1.1	Granulometria de Catuama em novembro de 2021.....	28
4.1.2	Granulometria de Catuama em abril-maio de 2022.....	29
4.1.3	Teor de CaCO₃ e MOT de Catuama em novembro de 2021.....	30
4.1.4	Teor de CaCO₃ e MOT de Catuama em abril-maio de 2022.....	30
4.1.5	Morfometria dos grãos de Catuama em novembro de 2021.....	31
4.1.6	Morfometria dos grãos de Catuama em abril-maio de 2022.....	32
4.1.7	Fração Arenosa e Índice (BM) de Catuama.....	32
4.2	SUAPE.....	34
4.2.1	Granulometria de Suape em novembro de 2021.....	34
4.2.2	Granulometria de Suape em abril-maio de 2022.....	34
4.2.3	Teor de CaCO₃ e MOT de Suape em novembro de 2021.....	35
4.2.4	Teor de CaCO₃ e MOT de Suape em abril-maio de 2022.....	36
4.2.5	Morfometria dos grãos de Suape em novembro de 2021.....	36

4.2.6	Morfometria dos grãos de Suape em abril-maio de 2022.....	37
4.2.7	Fração Arenosa e Índice BM de Suape.....	37
4.3	RIO FORMOSO.....	39
4.3.1	Granulometria de Rio Formoso em novembro de 2021.....	39
4.3.2	Granulometria de Rio Formoso em abril-maio de 2022.....	39
4.3.3	Teor de CaCO₃ e MOT de Rio Formoso em novembro de 2021.....	40
4.3.4	Teor de CaCO₃ e MOT de Rio Formoso em abril-maio de 2022.....	41
4.3.5	Morfometria dos grãos de Rio Formoso em novembro de 2021....	41
4.3.6	Morfometria dos grãos de Rio Formoso em abril-maio de 2022....	42
4.3.7	Fração Arenosa e Índice BM de Rio Formoso.....	42
5	DISCUSSÃO.....	44
5.1	CATUAMA.....	44
5.2	SUAPE.....	46
5.3	RIO FORMOSO.....	48
6	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXOS.....	59

1 INTRODUÇÃO

No segundo semestre do ano de 2019 o litoral brasileiro foi assolado por um derramamento de óleo e o equivalente a 5.000 toneladas foram recolhidas por voluntários, que fizeram operações de limpeza e remoção do óleo (Brum et al. 2020). Estima-se que 1000 localidades, desde os estados do Maranhão até o Rio de Janeiro, foram atingidas (Araújo et al., 2020; Magris & Giarrizzo, 2020; Lourenço et al., 2020; Silva et al., 2020; Silva et al., 2021; Bontempo et al., 2022).

Bontempo et al. (2022) relataram que foram retirados na costa pernambucana 1.650 toneladas de óleo misturado com areia e outros materiais. Em apuração aos dados do IBAMA (2020), ao longo do estado de Pernambuco 12 dos 13 municípios da faixa litorânea (tem contato com o oceano) foram atingidos. Um total de 48 localidades em áreas costeiras expostas ao mar aberto (praias e costões rochosos), além de 8 pontos localizados em rios associados a sistemas estuarinos, foram atingidos e contaminados pelo óleo (Bontempo et al., 2022).

Antes de atingir o litoral brasileiro, o petróleo bruto liberado no oceano sofreu intemperismo, que consiste em uma combinação de processos como espalhamento, evaporação, dissolução, biodegradação, emulsificação, sedimentação, dispersão e oxidação, resultando à concentração dos compostos mais pesados e viscosos do óleo cru (Gundlach et al., 1983). A modificação dos resíduos gera agregados de óleo classificados por Warnock et al. (2015) como bolas de piche (agregados de óleo intemperizado menores que 100mm de diâmetro), mousse de petróleo (agregados maiores que 100mm) e tapetes de piche (depósitos espessos que estão parcialmente ou totalmente submersos em água). Além disso, a perda de flutuabilidade também está ligada com a mistura de óleo com sedimentos, como areias e lamas ricas em quartzo e partículas biogênicas (Warnock et al., 2015; Bontempo et al., 2022).

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (cartas SAO), descritas por Araújo et al. (2011) apresentam o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), que consiste em uma escala de 0 a 10 para impactos gerados por óleo, classificando-se de acordo com a diminuição do grau de exposição à energia de ondas e com o aumento da penetração no substrato, do tempo de retenção na costa, e da produtividade biológica local. Praias intermediárias de areia fina ou média, como no presente estudo, são classificadas com índice 4. Mangues de estuários e estuários apresentam um ISL 10, pois são ambientes bastante sensíveis devido a sua baixa

energia e por agregarem uma alta densidade de biomassa. Assim, o derramamento ocorrido em 2019 foi prejudicial aos habitats marinhos e de transição. Magris & Giarrizzo (2020) e Câmara et al. (2021) adicionam impactos à saúde da população local, por exposição ao óleo, e socioeconômicos, devido a suspensão das atividades de pesca e turismo.

Além de todos os impactos gerados durante o derramamento, Turner & Millward (2002) afirmam que o óleo acumulado no sedimento ainda pode sofrer o processo de ressuspensão depois de algum tempo, pois processos como dragagem, bioturbação e tempestades podem remobilizar o sedimento e devolver os contaminantes para a coluna d'água. Dessa forma, é evidente a importância de estudos sazonais em áreas atingidas a fim de saber como está a recuperação dos ambientes impactados. O monitoramento ambiental sazonal se mostra essencial em diversos ambientes, como apresentado por Veiga et al. (2021) em Suape - PE; Barcellos et al. (2001) no Canal de São Sebastião - SP; Mahiques et al. (1998) em Ubatuba - SP; Oliveira (2019) no Rio Capibaribe -PE; Vasconcellos (2019) em Suape/Ipojuca - PE; Santos e Barcellos (2017), no Rio Formoso – PE e Pardal et al. (2019) no Rio Capibaribe - PE. Vale ressaltar que a resolução CONAMA 454 afirma que amostras com mais de 10% carbono orgânico total (COT) (> 17% matéria orgânica total (MOT)) são amostras contaminadas por matéria orgânica.

Ambientes costeiros são áreas de transição entre o continente e o oceano, apresentando uma grande dinâmica e seus depósitos sedimentares estão sujeitos à destruição e reconstrução periódica (Davis & Fox, 1972, Wolanski & McLusky, 2011). Regime de ondas, circulação de correntes, variações sazonais de clima, tempo, vento, dentre outros são fatores que influenciam nas modificações das linhas de costa expostas (Hoefel, 1998). Características geoquímicas e mineralógicas do depósito sedimentar de ambientes de transição também estão sujeitas a variações, visto que propriedades deste modo são herdadas pelos grãos diretamente de suas áreas-fonte e apresentam chegada de sedimentos como de origem marinha quanto continental (Baltzer, 1890; Woodroffe, 2002).

Sugiuo (2003), corroborando com Swift (1976), explica que as características de tamanho e proporção de grãos presentes em um determinado ambiente sedimentar variam em relação a períodos de baixa e alta energia, sendo exemplificado pela presença de partículas mais finas em suspensão enquanto a energia de ondas é menos intensa, pois não tem mais energia o suficiente para

carregar sedimentos mais grossos. Isso se excetua em áreas com rochas fontes próximas, o que pode levar a ocorrência de sedimentos mais grossos mesmo em áreas de baixa dinâmica de correntes.

Áreas estuarinas estão entre os diversos habitats de transição costeira atingidos pelo óleo, onde se destacam os sistemas estuarinos de Itapessoca-Catuama-Canal de Santa Cruz, litoral norte de Pernambuco, Baía de Suape-Rio Massangana, no litoral centro-sul do estado e o estuário do Rio Formoso, no litoral sul. Segundo Whitfield e Elliott (2012) os estuários são corpos hídricos costeiros, parcialmente fechados que apresentam contato com regiões marinhas e recebem descargas de águas fluviais. Interagindo com a hidrodinâmica de ambos os meios, estuários são ambientes de deposição importantes no ciclo sedimentar (Santos e Barcellos, 2017).

Os sítios de estudo contam com a presença de alguns ambientes sedimentares como apicuns, prados de fanerógamas marinhas, recife, praias arenosas e manguezais. Manguezais são ecossistemas localizados em regiões intermarés, ocorrendo em regiões tropicais e subtropicais do planeta Terra (Giri et al., 2011). Esses ecossistemas têm papel fundamental no sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes e proteção da linha de costa (Alongi, 2012; 2020; Howard et al. 2014; Lovelock et al. 2017). Assim, é perceptível a importância de estudos relacionados à fração arenosa em ambientes de transição, pois o sedimento é o principal destino do contaminante em caso de derramamento de óleo, podendo acumular altas concentrações (Garcia et al., 2007; ITOPE, 2014). Veiga (2022) afirma que a fração arenosa combinada com outros parâmetros físico-químicos permite a identificação de características sedimentares, composição, grau de influência marinha e continental, energia das correntes, tempo de transporte, alcance da maré no estuário e outros fatores importantes para caracterização ambiental.

Em adição, estudos como Guterman (2009); Lindeberg et al. (2018) e Bociu et al. (2019) apresentam resíduos de óleo em áreas afetadas por derramamentos que ocorreram em décadas pretéritas, mostrando que o óleo não foi intemperizado ou biodegradado. Assim, corroborando com a necessidade de estudos de monitoramento ambiental sazonal em ecossistemas impactados.

Por fim, o presente trabalho tem como hipótese o fato do derramamento de óleo ocorrido no litoral brasileiro em 2019 ainda estar presente fisicamente em

sedimentos superficiais de estuários atingidos, mesmo se considerando a dinâmica sedimentar local.

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral do estudo é comparar características sedimentares em relação à composição e geoquímica básica em pontos de controle de coletas de sedimentos previamente estudados, executando um monitoramento sazonal dos sedimentos após o derramamento de óleo na costa de Pernambuco.

1.1.1 Objetivos Específicos:

- Analisar as características composicionais dos sedimentos, relacionando os índices obtidos à distribuição sedimentar e ao processo de sedimentação sazonal;
- Avaliar, por meio do índice de biogênicos marinhos (BM) (Mahiques et al., 1998), o processo de dispersão dos grãos de origem continental em cada área, associando-os com as prováveis áreas fontes e impactos por óleo;
- A partir das análises de arredondamento, esfericidade e características texturais dos grãos, espera-se interpretar a dinâmica sedimentar e proveniência;
- Identificar possíveis vestígios de óleo agregados ao sedimento, como consequência do derramamento de petróleo que atingiu as áreas estudadas, monitorar sua persistência temporal.

2. ÁREA DE ESTUDO

O estado de Pernambuco tem como capital a cidade de Recife (8°S/35W), conta com uma área maior que 98 mil km² e apresenta uma linha de costa de 187 km de extensão. Sua Zona costeira e Zona da mata abrangem 21 municípios que juntos concentram 56% da população do estado, cerca de 4 milhões de habitantes (IBGE, 2021).

Como descrito por Manso et al. (2018), Pernambuco tem clima tropical úmido, regime de maré influenciado majoritariamente por fatores astronômicos classificada como mesomaré semidiurna, com amplitude média de sizígia de 2m e de quadratura de 0,7m. Santos (2008) discorre que as características oceanográficas se comportam sazonalmente com temperatura do mar variando de 27 a 28,7°C, a salinidade variando de 36 a 32,2 e ondas de gravidade com altura média de 1,05m.

Cerqueira (2021) afirma que os índices pluviométricos do litoral de Pernambuco podem ter média anual superior a 2000mm de chuva. Nos meses de março a agosto (outono e inverno) o clima regional passa pelo seu período chuvoso, enquanto o período seco ocorre de setembro a fevereiro (primavera e verão) (Medeiros e Kjerfve, 1993). O regime de ventos tem velocidade média de 3 a 5 m.s⁻¹, aponta sazonalidade entre maio a janeiro, possuindo regularidade na direção ESE-NNE que é influenciada pelos ventos alísios e brisas marítimas. (Manso et al. 2018).

Segundo Lino et al. (2014), a faixa litorânea do estado apresenta 13 municípios, setorizados em Norte, Núcleo Metropolitano ou central e Sul. Por apuração dos dados publicados pelo IBAMA, destes 13 municípios, 12 foram atingidos pelo derramamento de óleo em 2019. Entre eles está o município de Goiana, onde se localiza o estuário de Catuama, os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, onde se localiza o estuário de Suape e os municípios de Tamandaré, Sirinhaém e Rio Formoso, que juntos compõem o estuário do Rio Formoso. Dentre as áreas atingidas estão habitats que constituem áreas de praias arenosas, recifes, bancos de algas, planícies de maré hipersalinas, planícies intertidais, entre outros (Oliveira et al., 2020).

Segundo Santos e Barcellos (2017), Passos et. al. (2021) e Oliveira et. al. (2020), os estuários estudados apresentam cobertura vegetal formada por mangues, restinga, coqueiros, onde o manguezal é representado principalmente por mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e mangue preto (*Avicennia schaueriana*) e as restingas tem uma formação predominantemente herbáceo-arbustiva. O uso do solo nestas áreas é caracterizado principalmente por culturas comerciais monoespecíficas (cana-de-açúcar), mas também inclui um complexo industrial e viveiros de carcinicultura (Pereira, 2019; Oliveira e Barcellos, 2014; Otsuka et. al., 2014).

A região apresenta geologia majoritariamente composta por sedimentos flúvio-lagunares inconsolidados do quaternário e um relevo variável com três compartimentos geomorfológicos distintos: domínio montanhoso, rampas de colúviões, planaltos e planície costeira (Neumann et al., 1998).

O presente estudo analisou sedimentos superficiais de localidades diretamente atingidas pelo óleo de 2019 no litoral pernambucano, sendo elas: Catuama, Suape e Rio Formoso, que estão respectivamente situadas no litoral norte, central e sul do estado (Figura 1).

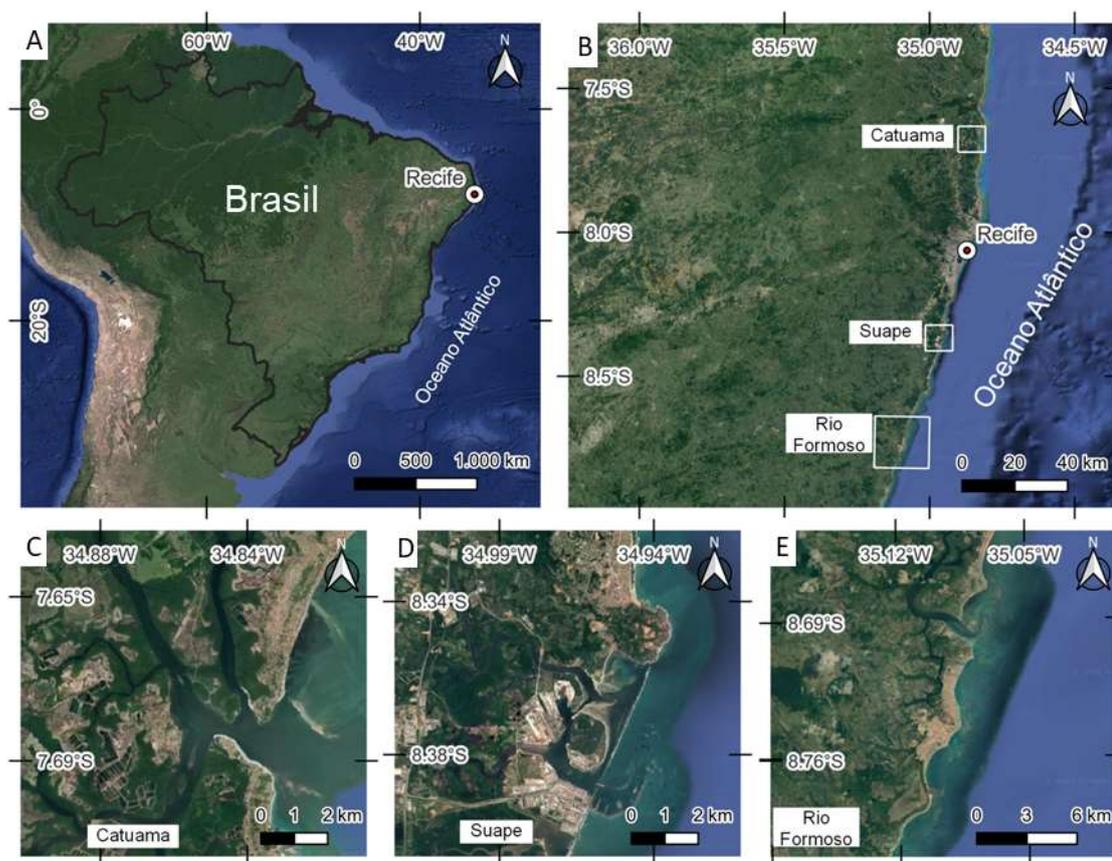


Figura 1 – Localização da área de estudo. (A) Mapa do Brasil. (B) Litoral do estado de Pernambuco. (C) Área de Estudo, Catuama. (D) Área de Estudo, Suape. (E) Área de Estudo, Rio Formoso.

2.1 CATUAMA

Catuama (7,67°S/32,84W) é um bairro do município de Goiana, situado a 50km ao norte da capital Pernambucana, Recife. A área de estudo está no estuário do rio Itapessoca, que apresenta uma área de 3.998 hectares. Estuário este que circunda a Ilha de Itamaracá e constitui os rios Itapessoca, Ibeapucu, Sirigi e Guariba- (Santana, 2013).

O manguezal de Atapuz, localizado no complexo estuarino de Itapessoca (PE), é colonizado por espécies típicas de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e mangue preto (*Avicennia schaueriana*). A região possui área de aproximadamente 40 km², sendo o terceiro maior complexo estuarino do estado. O manguezal estudado apresenta estreita franja de mangue e um banco de intermarés areno-lamoso, formado pela confluência dos fluxos de maré locais favorecido pelo regime de mesomárés (Oliveira et al., 2022).

O litoral do município de Goiana apresenta um relevo constituído por Planície Costeira e Tabuleiros Costeiros (CPRH, 2003). Fato este que explica a maré ser a principal forçante hidrodinâmica, ajudando assim a controlar a deposição de matéria orgânica e carbonato de cálcio, imprimindo uma sedimentação predominantemente arenosa litoclástica de alta energia e baixos teores orgânicos (Oliveira et al., 2017).

Segundo Barcellos et al. (2020), a distribuição de sedimentos terrígenos e biogênicos na região está associada à fisiografia local, bem como à ação hidrodinâmica e à produtividade. Vale ressaltar também que o presente local apresenta bons índices de oxigênio, nutrientes, pluviometria e não se caracteriza como um ambiente poluído (Figueiredo, 2006). Entretanto, segundo Santana (2013), este local compreende uma área de avicultura, exploração de areia, extração de calcário para produção de cimento e de cal, que são atividades que degradam os recursos hídricos, bem como a fauna e flora locais.

Na figura 2 é possível observar que foram executados 6 pontos de controle de coleta em Catuama, sendo três deles (A1, A2 e A3) em locais mais abrigados e os outros três (A4, A5 e A6) na porção de mar aberto externa ao estuário, mais exposta às forçantes oceânicas.

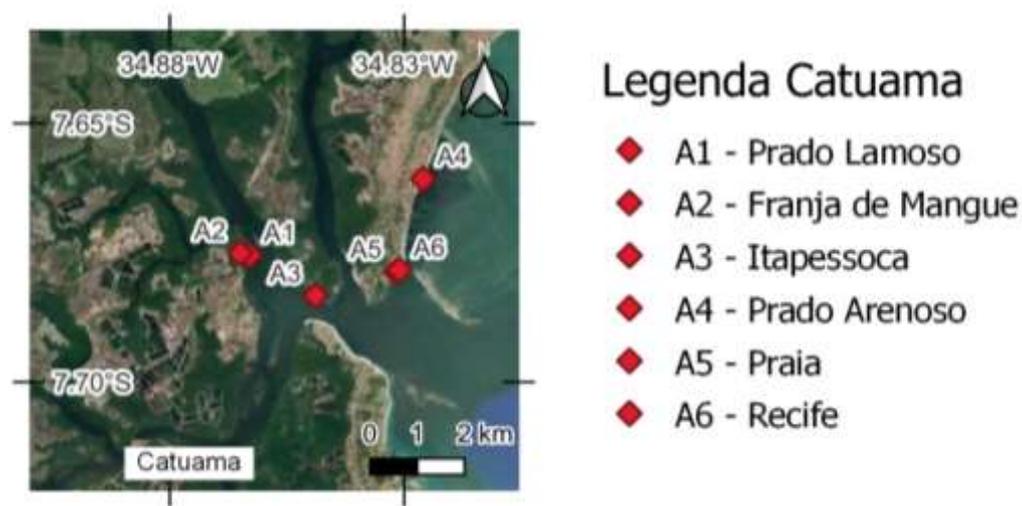


Figura 2 - Localização dos pontos de coleta da área de Catuama.

2.2 SUAPE

O Complexo Estuarino-Lagunar de Suape (8,35°S/34,96°W) localiza-se nos municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, Região Metropolitana do Recife (RMR), considerado zona central do litoral, mas estando a 40 km ao sul do Recife.

Segundo Oliveira et al. (2022), o sistema estuarino-lagunar de Suape apresenta uma temperatura média anual de 25°C e pluviosidade variando entre 1.850 e 2.364 mm por ano.

Como descrito por Fabin et al. (2020) e Barcellos & Santos (2018), desde a construção do Complexo Industrial-Portuário de Suape (CIPS), o sistema estuarino vêm sofrendo grandes alterações físicas e estruturais que causam diversos impactos na área. Conti et al. (2020) complementa que os principais impactos estão relacionados à dragagem, sedimentação/erosão, destruição de recifes, destruição de habitats de recifes e manguezais, assoreamento de lagoas, tráfego marítimo e de resíduos industriais e domésticos.

O sistema estuarino de Suape tem como forçante hidrodinâmica de circulação as correntes de maré (Manso et al., 2018). No que diz respeito à composição dos sedimentos, Oliveira et al. (2019) e Barcellos et al. (2018) afirmam que estes são heterogêneos, sendo em sua grande maioria arenosos siliciclásticos, porém apresentando grãos biogênicos marinhos com influência dos manguezais no aporte de matéria orgânica.

Na figura 3 é possível observar a localização do sistema estuarino de Suape, assim como os 6 pontos de coleta, estando 3 deles (B1, B2 e B3) localizados no médio estuário e os pontos B4, B5 e B6 no baixo estuário, na parte próxima a desembocadura do rio.

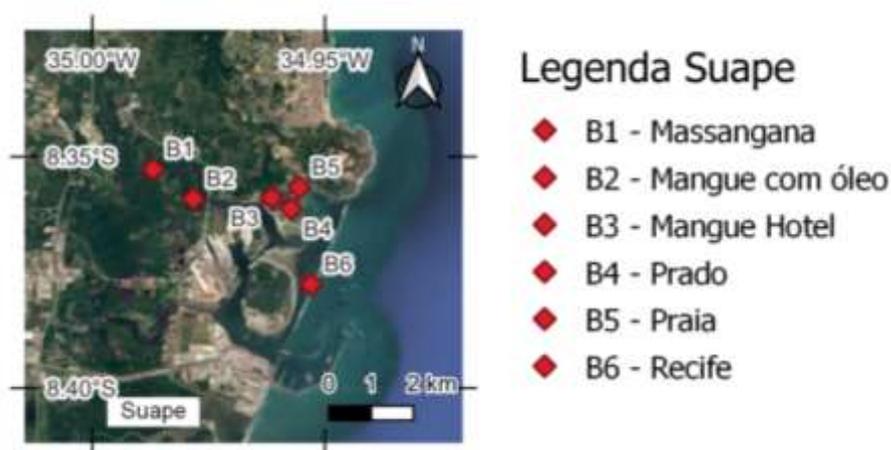


Figura 3 - Localização dos pontos de coleta de amostra superficial de sedimento do sistema estuarino de Suape.

2.3 RIO FORMOSO

Rio Formoso é um município pernambucano que junto com os municípios de Tamandaré e Sirinhaém compõem o estuário do Rio Formoso (8,69°S/35,09°W), que está localizado cerca de 75km da capital, Recife. Segundo a classificação de Köppen (1936) seu clima é tipo As' tropical, tendo um período chuvoso ocasionados por ciclones da Frente Polar Atlântica (SETUR/CPRH, 2011). A temperatura média anual é de 26°C, com máxima de 31°C na estação seca (verão) e média mínima de 22°C na estação úmida (inverno). Quanto à pluviosidade, chove durante o ano inteiro, com níveis de precipitação anual entre 1800 e 2000mm (CONDEPE/FIDEM, 2006). O mês mais chuvoso do ano é junho, o qual tem precipitação média de 190mm, por outro lado, o mês de novembro é o mais seco, chovendo cerca de 12mm (APAC, 2022).

Arruda (2010) mostra que o estuário do Rio Formoso se encontra bem preservado com ausência de contaminação severa, principalmente quando comparado a outros estuários do Brasil. Entretanto, o estudo mais recente feito por Santos & Barcellos (2017), diz que o Rio Formoso apresenta indicativos de contaminação nos sedimentos lamosos, uma sedimentação heterogênea e predominantemente litoclástica areno-lamosa.

O presente estuário se encontra inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe (CPRH, 2022), adjacente à APA Costa dos Corais, maior Unidade de Conservação Marinha do Brasil. Sua plataforma adjacente é predominantemente carbonática biogênica tendo a presença de arenitos de praia associados a recifes de coral (Camargo et al. 2007). Barcellos et al. (2020) classifica os sedimentos da plataforma interna e média de PE como areias cascalhosas biogênicas, mal selecionadas, com baixos teores de matéria orgânica de origem marinha. Esses autores apontam que ocorrem manchas de depósitos lamosos terrígenos adjacentes às desembocaduras estuarinos-fluviais, como nos rios Sirinhaém (10 km ao norte) e Una (16km ao sul).

A figura 4 mostra a localização dos pontos de coleta C1 e C2 no interior do estuário, os pontos C3 e C4 próximo à foz, o ponto C5 em uma praia de mar aberto sob maior influência oceânica e o ponto C6 na praia oceânica em frente ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste (CEPENE/ICMBio).



Figura 4 - Localização de pontos de coleta de amostras de sedimento superficial da área Rio Formoso.

3. METODOLOGIA

3.1 ETAPA DE CAMPO

As coletas foram executadas sazonalmente em duas épocas do ano, sendo a primeira em novembro de 2021 (primavera) no período seco, e a segunda em abril e maio de 2022 (outono), período chuvoso (Figura 5). O presente estudo selecionou para analisar os sedimentos de três importantes áreas que apresentam uma grande variedade de ambientes deposicionais (Manso et al., 2018). Foram adquiridas amostras em três locais de coleta, sendo 6 pontos amostrais em 2 períodos distintos, seco e chuvoso, totalizando 36 amostras. A amostra Mariassú - Rio Formoso de Nov/2021 foi descartada devido a problemas na coleta e armazenamento.

Foram coletados aproximadamente 200 g de sedimentos superficiais com auxílio de uma colher de aço-inox ou, quando necessário, com um amostrador de mandíbulas tipo *Van Veen*, por intermédio de uma embarcação. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e transportadas para laboratório onde foram acondicionadas em freezer até análise.

As coletas foram feitas em ambientes costeiros de mar aberto como recifes e praias, e estuarinos abrigados como prados de fanerógamas marinhas, manguezais e apicuns. Estes ambientes sedimentares apresentam comportamentos distintos em relação à sensibilidade do impacto direto por óleo, conforme observado no Atlas de Sensibilidade ao óleo em PE da Petrobrás/AS (Araújo et al., 2011). As estações de coleta foram traçadas com Google Earth e o geoposicionamento durante o campo foi obtido com o auxílio do aplicativo de celular GPS Logger.

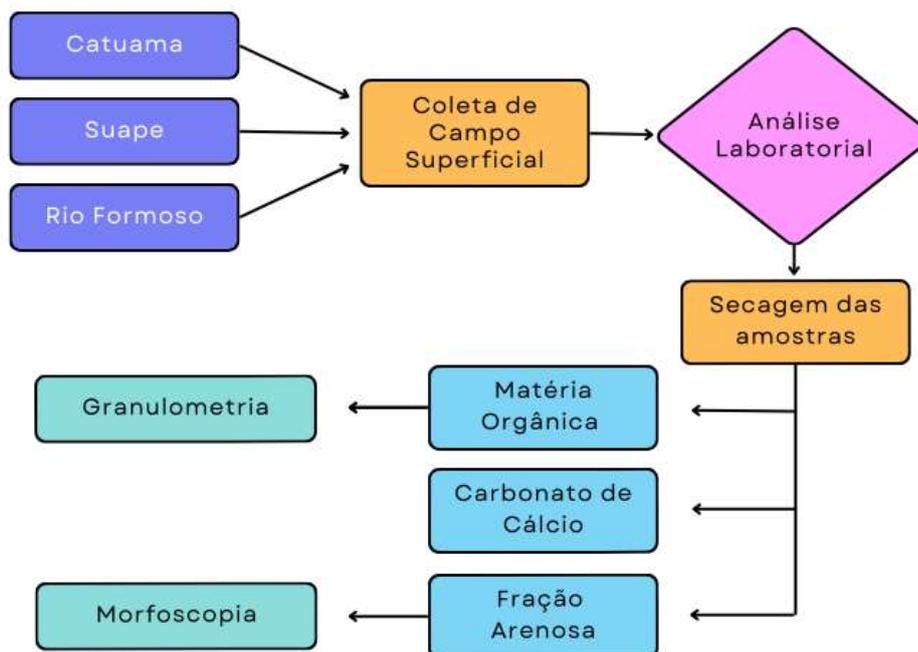


Figura 5 - Fluxograma das etapas metodológicas para obtenção dos dados sedimentares nos pontos de coletas de Catuama (Goiana), Suape (Ipojuca/Cabo de Santo Agostinho) e Rio Formoso (Sirinhaém/Rio Formoso).

3.2 ANÁLISES LABORATORIAIS

Após as coletas as amostras foram resfriadas a fim de evitar atividade bacteriana e congeladas em freezer no laboratório. Durante o período de análise, as amostras foram descongeladas e retiradas uma alíquota de aproximadamente 100 g para cada estação e então acondicionadas em placas de petri para secagem em estufa a 50°C. Em seguida, foram separadas 30g de sedimento para a análise do teor de matéria orgânica total (MOT) e granulometria, 10g para o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e 10g para fração arenosa e morfoscopia.

Os teores de CaCO_3 e MOT foram obtidos pela diferença de peso seco entre as amostras antes e após a reação com Ácido Clorídrico (HCl) e Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), respectivamente, ambos com diluição de 10% (Carver, 1971). Posteriormente a pesagem as amostras referentes ao CaCO_3 eram descartadas e as de MOT eram aproveitadas para a análise granulométrica.

A granulometria se deu através da técnica de peneiramento úmido descrita por Müller (1967) e Suguio (1973), onde o sedimento é passado pelas peneiras de 2mm e 0,063mm, sendo o peso seco do sedimento retido em cada peneira referente às frações de cascalho e areia, respectivamente. O peso da fração de lama, que é

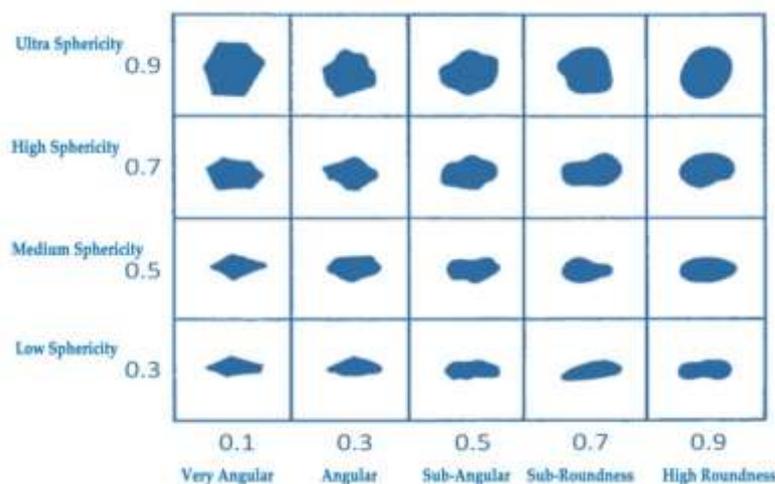
descartado com a água ao fim do processo, foi calculado subtraindo-se os pesos de cascalho e areia do valor do peso inicial pós-queima da MOT.

Para análise da fração arenosa a proposta utilizada foi de Shepard & Moore (1954), modificada em Mahiques et al. (1998) onde 10g de sedimento foram submetidos ao peneiramento úmido passando pelas peneiras 0,710mm, 0,500mm, 0,350mm e 0,250mm. Após o peneiramento, os sedimentos retidos nas frações 0,500mm (Areia Grossa) e 0,250mm (Areia Média) foram separados e secos em estufa a 50°C para análise em lupa binocular. Durante a análise, avaliou-se aspectos gerais da amostra, sendo contados e identificados 300 grãos, a partir de modificação do proposto por Hubert (1971).

No que diz respeito à composição das amostras, foram separados em dois grandes grupos, os de origem marinha e de origem continental. O grupo marinho engloba sedimentos como: foraminíferos, espículas de ouriço, espículas de esponjas, tubos de poliquetas, gastrópodes e fragmentos carbonáticos não identificados. O segundo grupo, terrígeno, apresenta sedimentos como: quartzo, quartzo limonitizado, fragmentos vegetais, minerais pesados, micas, outros minerais não identificados e outros terrígenos, este último que engloba sedimentos de difícil identificação e microplástico. Vale ressaltar que fragmentos de óleo foram procurados, mas não entraram na lista, pois não foram encontrados.

Foi aferido o grau de arredondamento e a esfericidade dos grãos por meio de comparação visual entre grão e a carta de esfericidade, segundo o diagrama de Krumbein & Sloss (1963). Foram contados grãos sedimentares em cada análise. A nomenclatura para os tipos de grãos foi analisada de acordo com a figura 6, modificada do diagrama de Krumbein & Sloss (1963) feita por Uli soy (2023).

A textura superficial dos grãos foi analisada, determinando se eram foscos ou polidos. Assim, tendo o objetivo de complementar as análises e fornecer informações que possam ajudar a determinar os tipos de transporte e processos sofridos pelos sedimentos, tal como, auxiliar na identificação dos respectivos agentes deposicionais (Suguio, 2003).



**Figura 6 - Diagrama de Krumbein & Sloss (1963), modificado por Ulisoy (2023).
Eixo x= arredondamento, Eixo y= esfericidade. Fonte: Ulisoy (2023).**

Segundo a técnica descrita por Riyis et al. (2019), os sedimentos foram colocados sob uma luz Ultra Violeta (UV) (395-400nm) de uma lanterna portátil de 9 watts, com o objetivo de identificar possíveis fragmentos de óleo presentes entre os grãos. A fim de comparação, foi utilizada uma amostra contaminada coletada na Praia de Itapuama durante a limpeza de 2019 (Anexo 12), entretanto, nenhuma reação do efeito da luz UV sobre o óleo foi observada. Com isso, a presença de fragmentos de óleo entre os sedimentos não pôde ser confirmada visualmente pela técnica da luz UV.

3.3 TRATAMENTO DE DADOS

Os resultados de granulometria obtidos pelo peneiramento úmido foram classificados de acordo com o diagrama textural de fácies de Folk (1954) e Larssoneur (1977) (Figura 7 modificada por Freire et al. (1997)). Para avaliação do grau de dinâmica sedimentar estuarina foi utilizado o diagrama ternário de Pejrup (1988) (Figura 8). Quanto aos teores de carbonatos de cálcio, os sedimentos foram classificados segundo a proposta de Larssoneur et al. (1982): litolásticos ($\text{CaCO}_3 < 30\%$); litobioclásticos ($30\% < \text{CaCO}_3 < 50\%$) biolitoclásticos ($50\% < \text{CaCO}_3 < 70\%$) e bioclásticos ($\text{CaCO}_3 > 70\%$).

SUBDIVISÕES PRINCIPAIS	SEIXOS, GRÂNULOS, COQUINAS OU RODOLITOS (L < 15%; Md > 2mm)	AREIAS (L < 15%; areia+lama > 50%; Md < 2mm)		SEDIMENTOS LAMOSOS L > 15%
		15% < superior a 2mm < 50%	superior a 2mm < 15%	
SEDIMENTO LITOCLASTICO carbonatos < 30%	CL 1 cascalho litoclástico	AL1a areia litoclástica com grânulos e cascalhos	AL1b areia litoclástica	LL1 lama ferrígena
SEDIMENTO LITO-BIOCLÁSTICO carbonato = 30 a 50%	CL 2 cascalho lito-bioclástico	AL2a areia lito-bioclástica com grânulos e cascalhos	AL2b areia lito-bioclástica	LL2 marga arenosa
SEDIMENTO BIO-LITOCLASTICO carbonatos = 50 a 70%	CB1 cascalho bio-litoclástico	AB1a areia bio-litoclástica com grânulos e cascalhos	AB1b areia bio-litoclástica	LB 1 marga calcária
SEDIMENTO BIOCLÁSTICO carbonato > 70%	CB2 cascalho bioclástico	AB2a areia bioclástica com grânulos e cascalhos	AB2b areia bioclástica	LB2 lama calcária

Abreviatura: L = lama; Md = mediana

Figura 7 - Larssoneur (1977) modificada por Freire et al. (1997) em Vital et al. (2005)

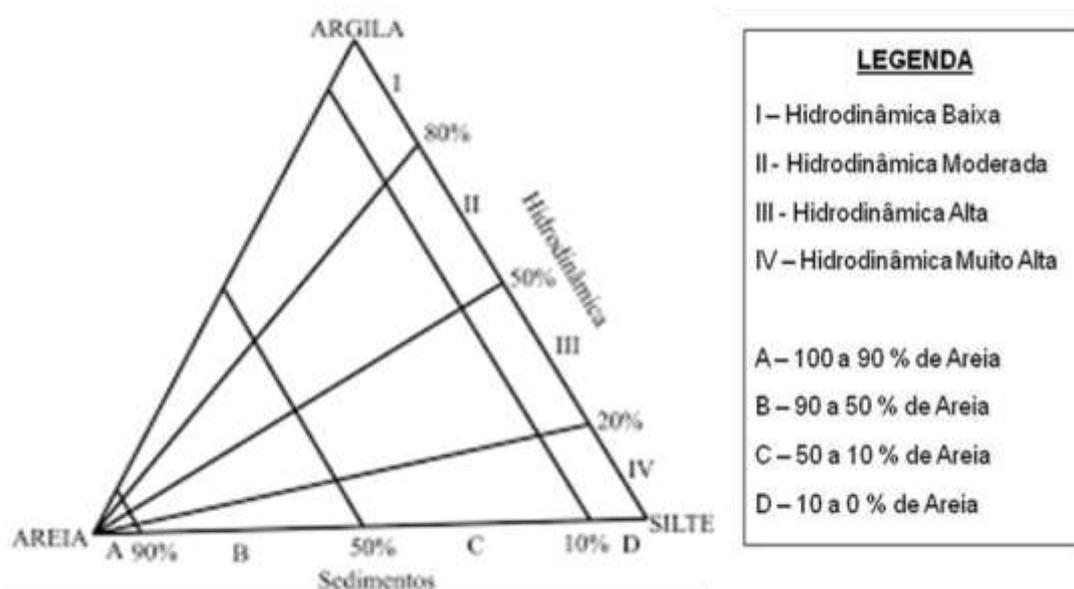


Figura 8 - Diagrama ternário de Pejrup (1988).

Os dados obtidos foram usados para a elaboração de tabelas, mapas e gráficos a partir do programa Excel e QGis a fim de uma melhor comparação. Em seguida, os dados foram submetidos a análises estatísticas de correlação linear de Pearson, para identificar a relação entre %cascalho, %areia, %lama, %MOT e %CaCO₃, médias e desvio padrão.

A análise dos dados da fração arenosa foi utilizada para definir o índice que fornece a medida da influência marinha sobre cada amostra (Mahiques et al., 1998), além de servir para uma melhor determinação de sub-ambientes sedimentares costeiros. Esse foi denominado com índice de biogênicos marinhos (BM) e é constituído pela diferença entre a frequência relativa dos grãos de origem marinha e terrígena, variando de (-1) a (+1). Os pontos de controle com índice próximo a -1 estão relacionados com uma contribuição continental mais alta, enquanto os próximos a +1 são mais influenciados pela sedimentação de origem marinha.

4. RESULTADOS

A granulometria dos sedimentos foi majoritariamente arenosa (Areia>50%) e poucos foram os locais que a lama chegou próximo ou ultrapassou essa porcentagem. O cascalho apresentou números significativos (Cascalho>15%) na amostra recifal A6 (Catuama), o que está ligado a fragmentos de corais e algas calcáreas.

As amostras variaram de litoclástica a bioclástica dependendo do percentual de teor de carbonato presente nos diferentes estuários, estações do ano e pontos de coleta. Nas amostras da região do Rio Formoso, por exemplo, o teor de CaCO_3 foi maior no mês de novembro, sendo biolitoclástico, com uma média de 40,65% (Desv.pad.: 30,41), mas continuou em patamares elevados em abril-maio, com uma média de 25,56% (litoclástico) (desv.pad.: 29,42). No caso dos estuários de Catuama e Suape, o período que apresentou maiores porcentagens médias de CaCO_3 foi o de abril-maio, com 11,53% e 10,93%, respectivamente (desv.pad.: 8,77 e 9,60, respectivamente). A porcentagem de matéria orgânica total (%MOT) esteve baixa (<5%) em todos os períodos, passando dos 5% apenas nas amostras B2, B3 e C1.

A fração arenosa dos sedimentos é constituída por uma grande porcentagem (>70% em mais da metade das amostras) de quartzo, podendo estar misturado principalmente com fragmentos vegetais e carbonáticos. Os fragmentos vegetais estão presentes, principalmente, em locais como prados e mangues, sendo mais presentes no período chuvoso (abril-maio), com exceção de A1-prado lamoso e C1-praia de pedra, que apresentaram uma grande quantidade de fragmentos vegetais (>50%) em novembro. Os bioclastos, fragmentos carbonáticos de carapaças de organismos não identificados, nesse estudo foram denominados genericamente de

“carbonato de cálcio” e estiveram presentes em todas as amostras de Recifes (A6/Catuama; B6/Suape; C5/Rio Formoso) e pontos próximos a eles.

As frações de areia média e areia grossa foram submetidas ao cálculo do índice biogênico marinho e 92,86% apresentaram influência continental. O ponto recifal C5 apresentou todas suas frações influenciadas por aportes marinhos, juntamente com a areia média presente no ponto B6 em Nov/2021, totalizando 5 amostras oriundas de Recifes e que exibem muitos fragmentos carbonáticos, tanto na classe areia média quanto na areia grossa.

A morfoscopia revelou que a maioria dos grãos se enquadrou em média esfericidade e em um padrão intermediário entre sub-anguloso e sub-arredondado. Eram majoritariamente polidos (>85% das frações), apresentando características foscas em apenas 10 frações de 5 pontos (A1, A2, B6, C1, C5).

Não foi encontrado fragmento indicativo de óleo em nenhuma amostra, o que demonstra uma boa recuperação superficial dos sedimentos estuarinos em relação ao derramamento de óleo que assolou o litoral brasileiro em 2019. Entretanto, ainda sim devemos nos preocupar com a preservação deles, pois foram vistos fragmentos de microplásticos em algumas amostras e foram caracterizados como “outros terrígenos”, por serem oriundos da ação antrópica e não de origem marinha (vide anexos 1, 2, 3 e 4).

4.1 CATUAMA

4.1.1 – Granulometria de Catuama em novembro de 2021

A granulometria de Catuama, em todas as amostras de Novembro de 2021, foi predominantemente de areias (Tabela 1) (Areias litoclásticas AL1b). O cascalho esteve acima dos 10% em A1 e acima dos 23% A6, nos demais locais o cascalho permaneceu abaixo de 1%. Lama ocorre nas três amostras que estão em locais mais abrigados, passando dos 27% em A2. Nos três ambientes mais expostos a maior hidrodinâmica (A4, A5 e A6) ela esteve abaixo dos 5%.

Catuama Nov/2021			
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama
A1- Atapuz Prado Lamoso	10,88	77,56	11,56
A2- Atapuz Franja Mangue	0,31	72,64	27,05
A3- Itapessoca	0,84	72,9	26,26
A4- Prado arenoso	0,79	95,03	4,18
A5- Praia	0,09	99,62	0,29
A6- Recife	23,56	75,84	0,6
Média	6,08	82,27	11,66
Desvio Padrão	9,52	11,90	12,31

Tabela 1 – Granulometria de Catuama, Novembro/2021.

4.1.2 – Granulometria de Catuama em abril/maio de 2022

A granulometria da região de Catuama (Tabela 2) se manteve com níveis mais elevados de areias (média >90%) (Areia Litoclástica AL 1b) e com a porcentagem de lama e de cascalho diminuindo em todos os pontos, menos em A4, que apresentou 4,15% de cascalho e 5,08% de lama. Chama-se atenção à redução de 10,37% de cascalho em A1 e de 7,95% em A6. Uma diminuição das lamas ocorreu também nas áreas mais abrigadas, com decréscimo de mais de 25% em A3 e mais de 9% em A1 e A2.

Catuama Abr-Mai/2022			
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama
A1- Atapuz Prado Lamoso	0,51	98,68	0,81
A2- Atapuz Franja Mangue	0,98	80,19	18,83
A3- Itapessoca	2,75	96,15	1,1
A4- Prado arenoso	4,15	90,77	5,08
A5- Praia	0,7	99,18	0,12
A6- Recife	15,61	84,05	0,34
Média	4,12	91,50	4,38
Desvio Padrão	5,80	7,95	7,31

Tabela 2 - Granulometria de Catuama, Abril-Maio/2022.

4.1.3 - Teor de CaCO₃ e MOT de Catuama em novembro de 2021

O teor de MOT não superou os 5% em nenhuma amostra (Tabela 3), teve seu máximo em A2 com 4,23% e seu mínimo em A5, com 0,77%. Mesmo com o CaCO₃ apresentando valores maiores que 11% em A1, A2, A4 e A6, teve seu máximo em A2 (16,54%), sendo denominado como litoclástico em todas as amostras.

Catuama Nov/2021		
ESTAÇÃO	% MOT	% CaCO ₃
A1- Atapuz Prado Lamoso	1,43	14,19
A2- Atapuz Franja Mangue	4,23	16,54
A3- Itapessoca	1,67	6,81
A4- Prado arenoso	2,19	14,19
A5- Praia	0,77	1,84
A6- Recife	0,48	11,12
Média	1,80	10,78
Desvio Padrão	1,34	5,52

Tabela 3 - Teor de CaCO₃ e MOT de Catuama, Novembro/2021.

4.1.4 - Teor de CaCO₃ e MOT de Catuama em abril/maio de 2022

O teor de MOT não variou mais que 1% em nenhuma amostra ao longo das estações, permanecendo abaixo dos 5% em todas as coletas. O teor de CaCO₃ teve uma diminuição significativa de 11,2% em A1, teve um aumento de 11,08% em A3 e um aumento de 7,45 em A2, sendo todas amostras classificadas como litoclásticas (<30% de CaCO₃). Os outros pontos permaneceram sem muita alteração em relação ao período anterior (Tabela 4).

Catuama Abr-Mai/2022		
ESTAÇÃO	% MOT	% CaCO ₃
A1- Atapuz Prado Lamoso	2,01	2,99
A2- Atapuz Franja Mangue	4,68	23,99
A3- Itapessoca	1,75	17,89
A4- Prado arenoso	2,67	12,51
A5- Praia	0,77	0,81
A6- Recife	1,13	10,98
Média	2,17	11,53
Desvio Padrão	1,40	8,77

Tabela 4 - Teor de CaCO₃ e MOT de Catuama, Abril-Maio/2022.

4.1.5 - Morfometria dos grãos de Catuama em novembro de 2021

Durante o mês de novembro de 2021, as frações areia média (0,250mm) e areia grossa (0,500mm) permaneceram com o arredondamento de 0,5 (subanguloso) em A1, A2 e A6, de 0,3 (anguloso) em A4 e A5 e variou de anguloso para sub-anguloso em A3 (Tabela 5). A esfericidade sofreu mudança em 4 das 6 amostras (A1, A2, A5 e A6), variando de média para alta em A2 e A5 e de alta para média em A1 e A6. Quanto às texturas superficiais dos grãos, todos são polidos, menos A1, que são foscos em ambas as frações arenosas, caracterizando assim uma amostra de sedimento que sofreu ação do vento.

	Catuama Nov/2021 (0,250mm)				Catuama Nov/2021 (0,500mm)				
	Arred	Esfer	% polidos	% foscos	Arred	Esfer	% polidos	% foscos	
A1- Atapuz Prado Lamoso	0,5	0,7	5	95	A1- Atapuz Prado Lamoso	0,5	0,5	10	90
A2- Atapuz Franja Mangue	0,5	0,5	80	20	A2- Atapuz Franja Mangue	0,5	0,7	80	20
A3- Itapessoca	0,3	0,7	90	10	A3- Itapessoca	0,5	0,7	85	15
A4- Prado arenoso	0,3	0,5	80	20	A4- Prado arenoso	0,3	0,5	60	40
A5- Praia	0,3	0,5	80	20	A5- Praia	0,3	0,7	90	10
A6- Recife	0,5	0,7	85	15	A6- Recife	0,5	0,5	80	20

Tabela 5 – Morfometria dos grãos de Catuama, Novembro/2021.
Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).

4.1.6 Morfometria dos grãos de Catuama em abril/maio de 2022

Nesse período (Tabela 6), o arredondamento das frações variou de angular a sub-arredondado e médio a ultra esférico, entretanto, na estação A6 decresceu de angular para sub-angular. Foi observada um aumento de esfericidade, passando de muito para ultra esférico em A3 e de médio para muito esférico em A4. As amostras apresentaram características texturais polidas, menos a fração areia média de A2, com 75% de grãos foscos. Comparando sazonalmente, os meses de abril-maio apresentaram sedimentos com um maior nível esfericidade e arredondamento, o que pode ser indicativo do transporte e aporte fluvial de material executado pelos rios locais, que ocorre principalmente no período chuvoso (Medeiros e Kjerfve, 2005).

	Catuama Abr-Mai/2022 (0,250mm)				Catuama Abr-Mai/2022 (0,500mm)				
	Arred	Esfer	% polidos	% foscos	Arred	Esfer	% polidos	% foscos	
A1- Atapuz Prado Lamoso	0,7	0,7	95	5	A1- Atapuz Prado Lamoso	0,7	0,7	95	5
A2- Atapuz Franja Mangue	0,5	0,7	25	75	A2- Atapuz Franja Mangue	0,5	0,7	95	5
A3- Itapessoca	0,5	0,7	85	15	A3- Itapessoca	0,5	0,9	75	25
A4- Prado arenoso	0,5	0,5	70	30	A4- Prado arenoso	0,5	0,7	80	20
A5- Praia	0,7	0,7	85	15	A5- Praia	0,7	0,7	85	15
A6- Recife	0,3	0,7	75	25	A6- Recife	0,5	0,7	80	20

**Tabela 6 - Morfometria dos grãos de Catuama, Abril-Maio/2022.
Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).**

4.1.7 Fração Arenosa e Índice (BM) de Catuama

A fração arenosa apresentou predominância de sedimentos quartzosos, mas os fragmentos vegetais estiveram bastante presentes (>50%) na estação de A1 (nov/2021) e A2 (abril-maio/2022) (Figura 9). Grãos carbonáticos foram perceptíveis em 4 pontos (A2, A3, A4 e A6) durante os meses de abril-maio/2022. Já em nov/2021 apenas o ponto A4 esteve em evidência em relação aos bioclastos. Os percentuais de tipos de fragmentos arenosos identificados nas frações arenosas que deram origem aos gráficos da figura 9 estão disponíveis nos Anexos 1, 2, 3 e 4.

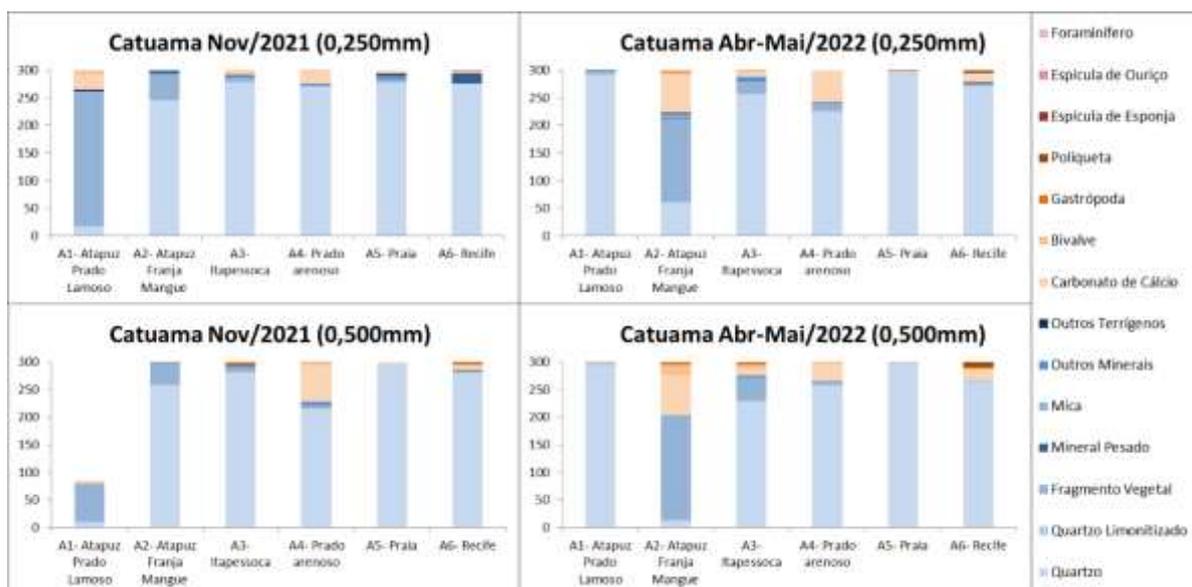


Figura 9 - Distribuição dos componentes sedimentares das frações de 0,250mm (areia média) e 0,500mm (areia grossa) na região de Catuama nos meses de novembro de 2021 e abril-maio de 2022.

O índice (BM) apresentou maior influência continental em todas as amostras dos dois períodos (Figura 10). Os dados mostram uma variação entre areia média e grossa nos pontos A1 e A4 em Nov/2021. As frações de areia variaram mais que 0,20 entre o período seco e chuvoso dos pontos A1, A2 e A4.

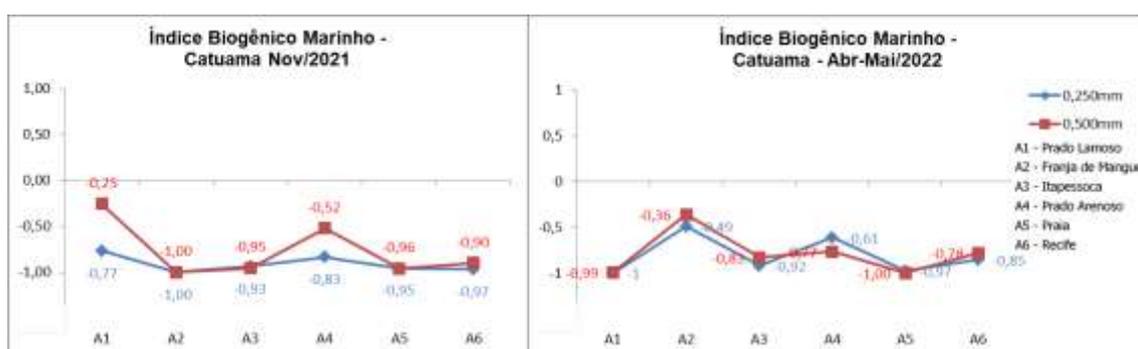


Figura 10 - Distribuição dos índices BM das frações de 0,250 (areia média) e 0,500 (areia grossa) na região de Catuama nos meses de novembro de 2021 e abril-maio de 2022.

4.2 SUAPE

4.2.1 Granulometria de Suape em novembro de 2021

Todos os pontos apresentam porcentagem de cascalho abaixo de 0,15% (Tabela 7), com exceção da amostra B6 que apresenta 10,75% de cascalho, sendo assim a única amostra de areia litobioclástica (AL2b). Os ambientes são predominantemente arenosos (areia>50%), sendo o ponto B5 o ambiente com a maior porcentagem (99,5%). A lama está presente em menor quantidade em B5 (0,44%), com maior quantidade em B2 (35,92%) e com representatividade em B3 (>15%), tornando-se assim B2 e B3 os únicos pontos caracterizados como lama terrígena (LL1). Predominam assim sedimentos arenosos litoclásticos (AL1b).

Suape Nov/2021			
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama
B1- Massangana	0,09	95,4	4,51
B2- Mangue com Óleo	0,13	63,95	35,92
B3- Mangue Hotel	0,09	82,98	16,93
B4- Prado	0,02	97,16	2,82
B5- Praia	0,05	99,5	0,44
B6- Recife	10,75	76,85	12,41
Média	1,86	85,97	12,17
Desvio Padrão	4,36	13,96	13,19

Tabela 7 – Granulometria de Suape, Novembro/2021.

4.2.2 Granulometria de Suape em abril/maio de 2022

Apesar de não ultrapassarem 5% (Tabela 8), é perceptível uma elevação (aumento máximo de 4,97%) na quantidade de sedimentos cascalhosos durante o período chuvoso, com exceção do Recife, que diminuiu de 10,75% para 5,15%. Os pontos de coleta em locais mais protegidos (B1, B2 e B3) acresceram sua porcentagem de cascalho em relação ao período sem chuvas, mas continuaram abaixo de 1%. Entretanto, B4 e B5, são pontos que sofrem maior influência marinha, tendo suas porcentagens saltando de 0,02% para 4,99% e 0,05% para 1,31%, respectivamente.

Os sedimentos continuam sendo arenosos em todas as amostras, apresentando aumento em B2 e B6 e decréscimo nos demais locais. A lama obteve decréscimo em B2, variando de 35,92% para 18,34% e aumento nos demais pontos, atingindo seu valor máximo em B3, quando passou de 16,93% para 28,96%.

Suape Abr-Mai/2022			
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama
B1- Massangana	0,41	83,6	15,99
B2- Mangue com Óleo	0,61	81,05	18,34
B3- Mangue Hotel	0,11	70,93	28,96
B4- Prado	4,99	89,96	5,05
B5- Praia	1,31	89,08	9,6
B6- Recife	5,15	91,92	2,93
Média	2,10	84,42	13,48
Desvio Padrão	2,34	7,78	9,66

Tabela 8 - Granulometria de Suape, Abril-Maio/2022.

4.2.3 - Teor de CaCO₃ e MOT de Suape em novembro de 2021

MOT não representou quantidade alta (>17%) em nenhuma amostra, tendo um máximo de 8,22% em B2 e um mínimo de 1,04% em B5 (Tabela 9). No que diz respeito ao teor de CaCO₃, a amostra de B6 mostra o maior índice, com 30,55% tornando-se o único ponto litobioclástico (ALb2) (30%<CaCO₃<50%) e o menor ficou com a amostra do Prado, que contém 1,17%. As demais amostras permaneceram abaixo de 7,5%, caracterizando-se como sedimentos arenosos litoclásticos (AL1b) (CaCO₃<20%).

Suape Nov/2021		
ESTAÇÃO	% MOT	% CaCO₃
B1- Massangana	1,73	1,92
B2- Mangue com Óleo	8,22	7,13
B3- Mangue Hotel	7,68	5,81
B4- Prado	1,18	1,17
B5- Praia	1,04	1,25
B6- Recife	3,03	30,55
Média	3,81	7,97
Desvio Padrão	3,28	11,34

Tabela 9 - Teor de CaCO₃ e MOT de Suape, Novembro/2021.

4.2.4 - Teor de CaCO₃ e MOT de Suape em abril/maio de 2022

No período chuvoso (Tabela 10) houve aumento (média saindo de 3,81 para 5,47%) nos valores de MOT, mas todos apresentaram dados abaixo de 12% em Suape. Os locais mais abrigados (B1, B2 e B3) obtiveram porcentagens de MOT mais elevadas, enquanto os locais mais expostos não superaram 3%. Também houve aumento no CaCO₃ da maioria das áreas, apenas B6 praticamente se manteve estável, tendo um leve decréscimo de 0,41%. Demais áreas aumentaram suas porcentagens em até 4%.

Suape Abr-Mai/2022		
ESTAÇÃO	% MOT	% CaCO ₃
B1- Massangana	5,97	5,03
B2- Mangue com Óleo	7,66	9,91
B3- Mangue Hotel	11,89	8,66
B4- Prado	2,93	6,52
B5- Praia	2,13	5,34
B6- Recife	2,21	30,14
Média	5,47	10,93
Desvio Padrão	3,86	9,60

Tabela 10 - Teor de CaCO₃ e MOT de Suape, Abril-Maio/2022.

4.2.5 Morfometria dos grãos de Suape em novembro de 2021

Quanto à esfericidade, a fração areia média de B5 e B6 apresentaram uma esfericidade média e os demais apresentaram esfericidade alta (Tabela 11). Obteve-se aumento do arredondamento nas amostras de B2 e B6 da areia grossa e um decréscimo no arredondamento da areia grossa de B1, B3 e B4. Os grãos foram polidos em todas as amostras, menos em B6, que apresentou 65% de grãos foscos na areia média e 40% na areia grossa.

Suape Nov/2021 (0,250mm)					Suape Nov/2021 (0,500mm)				
	Arred	Esfer	% polidos	% foscas		Arred	Esfer	% polidos	% foscas
B1- Massangana	0,7	0,7	90	10	B1- Massangana	0,5	0,7	85	15
B2- Mangue com Óleo	0,3	0,7	85	15	B2- Mangue com Óleo	0,5	0,7	85	15
B3- Mangue Hotel	0,5	0,7	80	20	B3- Mangue Hotel	0,3	0,7	70	30
B4- Prado	0,5	0,7	80	20	B4- Prado	0,3	0,7	85	15
B5- Praia	0,5	0,5	85	15	B5- Praia	0,5	0,7	85	15
B6- Recife	0,3	0,5	35	65	B6- Recife	0,5	0,7	60	40

Tabela 11 - Morfometria dos grãos de Suape, Novembro/2021.
Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).

4.2.6 Morfometria dos grãos de Suape em abril/maio de 2022

Em abril/maio de 2022 (Tabela 12) a esfericidade de B1 e B2 aumentaram de muito para ultra esférico e de médio para muito esférico em B5. O arredondamento permaneceu sub-anguloso em todas as amostras de ambas as frações, sendo um ambiente com uma alta hidrodinâmica e com colisões de grãos de sedimento. A textura superficial se manteve polida em todas as amostras, mas com 45% e 40% de grãos foscas em B1 e B6 na fração areia média, respectivamente.

Suape Abr-Mai/2022 (0,250mm)					Suape Abr-Mai/2022 (0,500mm)				
	Arred	Esfer	% polidos	% foscas		Arred	Esfer	% polidos	% foscas
B1- Massangana	0,5	0,7	55	45	B1- Massangana	0,5	0,9	70	30
B2- Mangue com Óleo	0,5	0,7	85	15	B2- Mangue com Óleo	0,5	0,9	80	20
B3- Mangue Hotel	0,5	0,7	65	35	B3- Mangue Hotel	0,5	0,5	75	25
B4- Prado	0,5	0,7	75	25	B4- Prado	0,5	0,7	80	20
B5- Praia	0,5	0,5	85	15	B5- Praia	0,5	0,7	85	15
B6- Recife	0,5	0,7	60	40	B6- Recife	0,5	0,7	75	25

Tabela 12 - Morfometria dos grãos de Suape, Abril-Maio/2022.
Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).

4.2.7 Fração Arenosa e Índice BM de Suape

Todos os pontos, exceto B6 (areia média de nov/2021), apresentaram predominância de grãos de quartzo (Figura 11). Entretanto, fragmentos vegetais estiveram presentes, destacando-se em novembro/2021 nos sedimentos de B2 e B3 e em abril-maio/2022 nas estações de B1, B2, B3, B4 e em menor quantidade em B5. Outros minerais foram vistos nas amostras de B6 nos dois períodos, amostra a qual apresentou os maiores números de grãos carbonáticos. Os percentuais de tipos de fragmentos arenosos identificados nas frações arenosas que deram origem aos gráficos da figura 11 estão disponíveis nos Anexos 1, 2, 3 e 4.

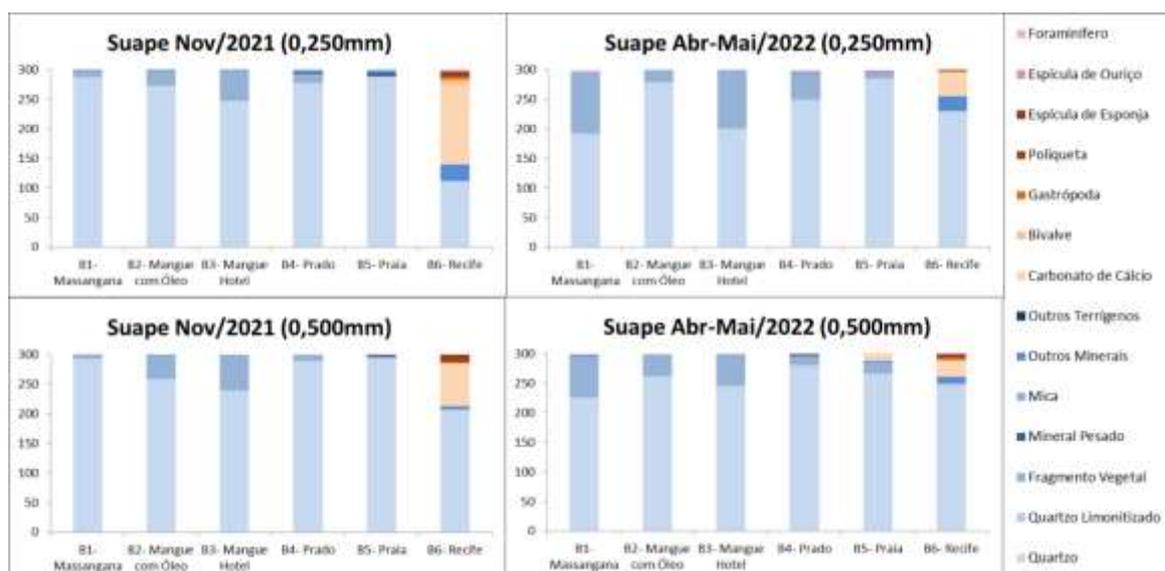


Figura 11 - Distribuição dos componentes sedimentares das frações de 0,250mm (areia média) e 0,500mm (areia grossa) na região de Suape nos meses de novembro de 2021 e abril-maio de 2022.

O índice BM (Figura 12) demonstrou que as amostras de Suape apresentaram características sedimentares completamente influenciadas por aportes terrígenos, exceto o ponto de B6 (recife) em nov/2021, que apresentou uma maior influência marinha na fração areia média.

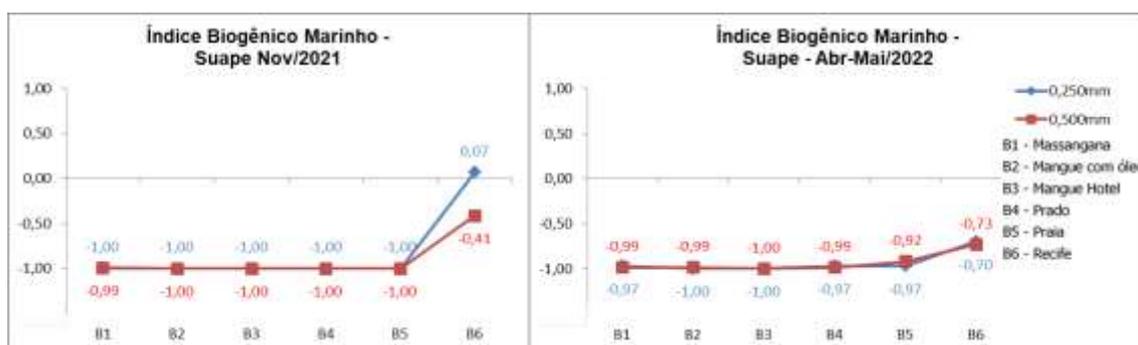


Figura 10 - Distribuição dos índices BM das frações de 0,250 (areia média) e 0,500 (areia grossa) na região de Suape nos meses de novembro de 2021 e abril-maio de 2022.

4.3 RIO FORMOSO

4.3.1 Granulometria de Rio Formoso em novembro de 2021

A estação de Mariassú em novembro de 2021 não foi coletada devido a problemas no campo (Tabela 13). No mais, temos a amostra de C1 apontando uma predominância de lama, com 52,96% (lama terrígena LL1) e o restante das amostras com predominância de areia, variando de 99,75 em C6 (areia litoclástica AL1b) a 79,7% no C3 (marga arenosa LL2). O cascalho não teve representatividade (>10%) em nenhuma das estações, estando em maior quantidade no C5, onde foi observado o valor de 5,96%.

Rio Formoso Nov/2021			
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama
C1- Praia de Pedra	0,16	46,88	52,96
C2- Mariassu	-	-	-
C3- Prado Arenoso	2,88	79,7	17,42
C4- Praia	0,45	98,68	0,87
C5- Recife	5,96	94,03	0
C6- CEPENE	0,12	99,75	0,13
Média	1,91	83,81	14,28
Desvio Padrão	2,54	22,14	22,86

Tabela 13 - Granulometria de Rio Formoso, Novembro/2021.

4.3.2 Granulometria do Rio Formoso em abril/maio de 2022

No período chuvoso do Rio Formoso (Tabela 14) é perceptível observar que as areias dominam em todos os pontos, não ficando abaixo dos 80% em nenhum caso, incluindo o aumento em C1-Praia de Pedra de 46,88% para 80,36%. O cascalho diminuiu em todas as estações, chegando à zero em C4 e C6, que são estações mais expostas à influência marinha. A lama decresceu em C1 e C3, de 52,96% para 19,56% e 17,42% para 0,22%, respectivamente. C2 apresentou percentual de cascalho próximo de zero, uma grande porcentagem (89,6%) de areia e lama em torno dos 10%, predominando sedimentos essencialmente arenosos para este período na área.

Rio Formoso Abr-Mai/2022			
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama
C1- Praia de Pedra	0,08	80,36	19,56
C2- Mariassu	0,12	89,6	10,28
C3- Prado Arenoso	0,22	99,56	0,22
C4- Praia	0	99,86	0,14
C5- Recife	2,92	96,88	0,2
C6- CEPENE	0	99,95	0,05
Média	0,56	94,37	5,08
Desvio Padrão	1,16	7,92	8,17

Tabela 14 - Granulometria de Rio Formoso, Abril-Maio/2022.

4.3.3 - Teor de CaCO₃ e MOT de Rio Formoso em novembro de 2021

A MOT não apresentou conteúdos significativos (>17%) na coleta de novembro de 2021 (Tabela 15), tendo sua maior porcentagem em C1, com 7,63% e a menor porcentagem em C6, com 0,46%. O CaCO₃ apresentou números mais elevados (>20%), exceto em C6, que mostrou uma porcentagem de 1,69%, representando um ambiente sedimentar com fácies predominantemente arenosas litoclásticas (AL1b). O valor do CaCO₃ atingiu 78,53% em C5 (areia bioclástica AB2b). No interior do estuário do Rio Formoso, em C1 e C3, estiveram com 20,4% e 58,66%, que somados com a alta porcentagem de lama (>15%) foram classificados como Lama terrígena (LL1) e Marga Arenosa (LL2), respectivamente.

Rio Formoso Nov/2021		
ESTAÇÃO	% MOT	% CaCO₃
C1- Praia de Pedra	7,63	20,4
C2- Mariassu	-	-
C3- Prado Arenoso	2,19	58,66
C4- Praia	1,84	43,99
C5- Recife	1,07	78,53
C6- CEPENE	0,46	1,69
Média	2,64	40,65
Desvio Padrão	2,87	30,41

Tabela 15 - Teor de CaCO₃ e MOT de Rio Formoso, Novembro/2021.

4.3.4 - Teor de CaCO₃ e MOT de Rio Formoso em abril/maio de 2022

No mês de abril/maio de 2022 o teor de matéria orgânica total se manteve inferior a 5%, apresentando um máximo de 4,65% apenas em C1 (Tabela 16). O valor de CaCO₃ na amostra de C5 sofreu um aumento de 4,38%, enquanto todas as outras sofreram um decréscimo. C3, por exemplo, variou de 58,66% para 22,02% de CaCO₃, sendo classificado como litoclástico (30%>CaCO₃) e apresentando uma hidrodinâmica muito alta (IVA).

Rio Formoso Abr-Mai/2022		
ESTAÇÃO	% MOT	% CaCO ₃
C1- Praia de Pedra	4,65	12,6
C2- Mariassu	2,8	8,94
C3- Prado Arenoso	1,25	22,02
C4- Praia	0,9	25,41
C5- Recife	0,92	82,91
C6- CEPENE	0,57	1,45
Média	1,85	25,56
Desvio Padrão	1,58	29,42

Tabela 16 - Teor de CaCO₃ e MOT de Rio Formoso, Abril-Maio/2022.

4.3.5 Morfometria dos grãos de Rio Formoso em novembro de 2021

Em novembro de 2021 o arredondamento se manteve em sub anguloso nas duas frações de areia em C1 e C5, se manteve sub-arredondado em C3, apresentou um aumento de angular para sub-anguloso em C4 e uma redução de ultra-arredondado para sub-arredondado na praia oceânica de C6 (Tabela 17). A esfericidade sofreu um aumento de média para alta esfericidade em C4 e C5, uma redução de média para baixa esfericidade em C3, se manteve com alta esfericidade em C1 e com baixa esfericidade em C6. A textura superficial não variou significativamente (>10%) da fração areia média para grossa em cada um dos pontos de coleta. Entretanto, apresentou valores distribuídos em amostras como C1, C3 e C4, já em C5 os grãos foram predominantemente foscos e em C6 predominantemente polidos. O que permite inferir que os grãos de C6 são constantemente polidos e retrabalhados devido à ação de ondas.

Rio Formoso Nov/2021 (0,250mm)					Rio Formoso Nov/2021 (0,500mm)				
	Arred	Esfer	% polidos	% foscas		Arred	Esfer	% polidos	% foscas
C1- Praia de Pedra	0,5	0,7	45	55	C1- Praia de Pedra	0,5	0,7	45	55
C2- Mariassu	-	-	-	-	C2- Mariassu	-	-	-	-
C3- Prado Arenoso	0,7	0,5	65	35	C3- Prado Arenoso	0,7	0,3	70	30
C4- Praia	0,3	0,5	60	40	C4- Praia	0,5	0,7	65	35
C5- Recife	0,5	0,5	15	85	C5- Recife	0,5	0,7	15	85
C6- CEPENE	0,9	0,3	90	10	C6- CEPENE	0,7	0,3	85	15

Tabela 17 - Morfometria dos grãos de Rio Formoso, Novembro/2021. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).

4.3.6 Morfometria dos grãos de Rio Formoso em abril/maio de 2022

O arredondamento da areia grossa sofreu um decréscimo de sub-arredondado para sub-anguloso nas amostras C4 e C5 (Tabela 18). Todos os outros pontos permaneceram similares (0,7 em C2, C3 e C6 e 0,5 em C1) nas duas frações de areia de abril-maio/2022 e não variaram sazonalmente. A esfericidade de C3 aumentou de média para alta e em C4 aumentou de alta para ultra-esférico. As texturas superficiais foram todas polidas, com apenas C5 apresentando grãos foscas, demonstrando que os grãos sedimentares não sofrem transporte eólico.

Rio Formoso Abr-Mai/2022 (0,250mm)					Rio Formoso Abr-Mai/2022 (0,500mm)				
	Arred	Esfer	% polidos	% foscas		Arred	Esfer	% polidos	% foscas
C1- Praia de Pedra	0,5	0,7	75	25	C1- Praia de Pedra	0,5	0,7	80	20
C2- Mariassu	0,7	0,7	75	25	C2- Mariassu	0,7	0,7	70	30
C3- Prado Arenoso	0,7	0,5	60	40	C3- Prado Arenoso	0,7	0,7	60	40
C4- Praia	0,7	0,7	60	40	C4- Praia	0,5	0,9	75	25
C5- Recife	0,7	0,5	15	85	C5- Recife	0,5	0,5	15	85
C6- CEPENE	0,7	0,9	80	20	C6- CEPENE	0,7	0,7	80	20

Tabela 18 - Morfometria dos grãos de Rio Formoso, Abril-Maio/2022. Fração areia média (0,250mm) e fração areia grossa (0,500mm).

4.3.7 Fração Arenosa e Índice BM de Rio Formoso

Rio Formoso apresentou uma fração arenosa bem heterogênea, com diferentes tipos de grãos, representando características continentais e marinhas (Figura 14). Os fragmentos vegetais predominaram na amostra de novembro/2021 em C1 e apresentou números relevantes em C1 e C2 na coleta de abril-maio/2022. O CaCO₃ predominou nas duas coletas de C5 e apresentou percentuais elevados (>20%) nas coletas de C3 e C4. O estuário do Rio Formoso também apresentou uma grande quantidade de outros minerais e na amostra de C1 na fração 0,250mm observa-se uma quantidade significativa (>4,5%) de micas. Os percentuais de tipos

de fragmentos arenosos identificados nas frações arenosas que deram origem aos gráficos da figura 14 estão disponíveis nos Anexos 1, 2, 3 e 4.

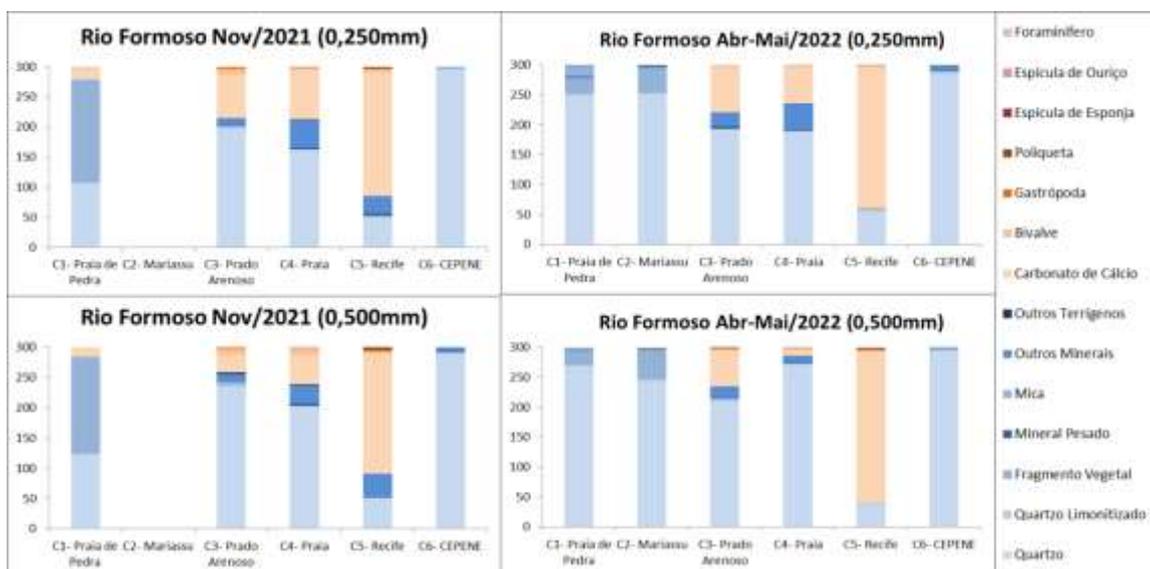


Figura 14 - Distribuição dos componentes sedimentares das frações de 0,250mm (areia média) e 0,500mm (areia grossa) na região de Suape nos meses de novembro de 2021 e abril-maio de 2022.

Os índices BM (Figura 15) indicaram que o Recife é a única amostra com influência marinha, entretanto os sedimentos mais finos (0,250mm) do C3 e da C4 estão com índices intermediários indicando que são influenciados por aportes continentais, mas apresentam um número relevante de sedimentos marinhos.

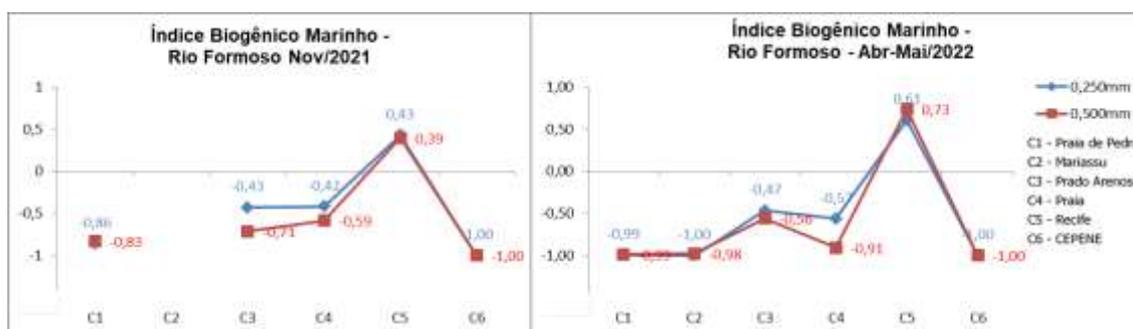


Figura 15 - Distribuição dos índices BM das frações de 0,250 (areia média) e 0,500 (areia grossa) na região de Suape nos meses de novembro de 2021 e abril-maio de 2022.

5. DISCUSSÃO

5.1 CATUAMA

É perceptível a predominância de sedimentos arenosos litoclásticos em todos os pontos de Catuama e a presença de uma grande quantidade de cascalho em nov/21 em A1 e nas duas coletas de A6. A porcentagem de cascalho na primeira coleta de A1 (10,88%) está ligada às carapaças de organismos e a grandes fragmentos vegetais. No caso das amostras do recife (A6), o sedimento cascalhoso está vinculado com algas calcárias e fragmentos de corais. No geral das amostras, o mês de novembro apresenta hidrodinâmica alta (IIIB) e muito alta (IVA e IVB) e baixo nível de cascalho, o que pode estar relacionado a uma menor produção sazonal biogênica, visto que sedimentos mais grossos estão ligados ao aporte marinho forçado pela maré (Oliveira et al., 2017). Fato este que explica a diferença de cascalho (de 23,56% para 15,61%) em A6 (recife), já que a hidrodinâmica local estará maior em abril/maio, dada a maior altura de ondas no período (Manso et al., 2018), o sedimento mais grosso tende a sair da área marinha (recife) e adentra o estuário, o que também explica a grande quantidade de sedimento carbonático encontrado.

As áreas de A1, A2 e A3 (prados lamosos e franja de mangue) estão inseridas em porções mais abrigadas que não sofrem influência direta das ondas, imprimindo uma sedimentação condicionada pelos fluxos de maré e descargas dos rios, o que explica a grande quantidade de fragmentos vegetais encontrados nas análises da fração arenosa. Essa maior quantidade de fragmentos vegetais foi também observada por Veiga (2022) para a área em Fevereiro e Novembro de 2020 e Veiga et al., (2021) para a região de Suape. O ponto de A1, classificado como areia litoclástica (AL1b), está mais longe da margem, sobre um banco de areia que é rapidamente submerso pela água durante a maré cheia. Com isso, há uma hidrodinâmica de forçante geológica corroborando com o aporte de sedimentos mais grossos e menos sedimentos finos, o que ajuda na hidrodinâmica de A1 (prado lamoso) classificada como muito alta (IVB) (Pejrup, 1988; Oliveira et al. 2022).

A diferença de 7,28% na média da quantidade de lama presente em novembro de 2021 para a baixa quantidade em abril/maio de 2022 parece ter relação direta com a pluviosidade. O mês de novembro encontra-se no auge do período seco, com apenas 13,6mm de chuva em Catuama (APAC, 2021), contribuindo para que haja uma menor dinâmica oriunda do escoamento das

chuvas, facilitando o aporte de sedimentos mais finos. Isso justifica o fato de A1 (prado lamoso), que é uma área estuarina com presença de vegetação circundante do manguezal, além do extenso prado local de fanerógamas marinhas, apresentar um alto índice de fragmentos vegetais nas frações arenosas investigadas.

Segundo a proposta de Larssonneur et al. (1982) referente ao teor de CaCO_3 , tem-se que todas as amostras de Catuama se caracterizam como litoclásticas (areias litoclásticas (AL1b) (Vital et al., 2005)), o que é explicado pela grande quantidade de sedimentos quartzosos nas análises. Esse predomínio de sedimentos quartzosos arenosos e areno-lamosos (AL1b e LL1) foram também observado por Passos et al. (2022) em testemunhos coletados em manguezal local no canal de Catuama. A plataforma continental adjacente é constituída principalmente por areias cascalhosas carbonáticas (Melo et al., 2019; Barcellos et al., 2020), também presentes nos sedimentos carbonáticos observados no estuário e praias de Catuama. Assim, é justificável o fato de ocorrer um número maior nos percentuais de grãos carbonáticos do mês de novembro em relação a abril-maio, período chuvoso. O fluxo d'água proveniente das chuvas acarretaria numa troca de sedimentos, trazendo sedimentos da plataforma adjacente (carbonáticos) para dentro do estuário (Oliveira et al., 2017), o que explica o índice biogênicos marinhos ser também influenciado por sedimentos marinhos no período de chuva.

O teor de MOT está associado diretamente a sedimentos mais finos (correlação de Pearson = 0,95) (Anexo 6), pois as argilas concentram cerca de duas vezes mais MOT que siltes e cerca de quatro vezes mais MOT que as areias muito finas (Oliveira et al., 2017). Por ter maior porcentagem de areia em todas as amostras, não houve conteúdos significativos (>6%) de MOT, apresentando médias de 1,80% no período seco e 2,17% no chuvoso. Os grãos apresentam uma morfoscopia bem parecida, estando em sua maioria polidos, o que sugere um sedimento retrabalhado em meio aquoso.

A areia grossa tende a ter um arredondamento melhor, o que é justificado pelos transportes por saltação e tração, que fazem o grão estar em contato com outros grãos, assim, moldando suas arestas. Os grãos de areia média são também transportados em suspensão, o que diminui seu contato com outras superfícies modeladoras, justificando assim seu arredondamento e sua esfericidade menor, indicando que são sedimentos retrabalhados, e influenciados pela alta dinâmica sedimentar às quais as amostras estão submetidas, mesmo nos ambientes

estuarinos mais abrigados (A1, A2 e A3) afetados pelo óleo. Comparando sazonalmente, os meses de abril-maio apresentaram sedimentos com um maior nível esfericidade e arredondamento, o que pode ser indicativo do transporte e aporte fluvial de material executado pelos rios locais, que ocorre principalmente no período chuvoso (Medeiros e Kjerfve, 2005). Por fim, nenhum fragmento de óleo foi encontrado durante as análises.

5.2 SUAPE

Os sedimentos da área de Suape apresentam uma granulometria predominantemente arenosa ($\approx 85\%$ de areia em média), tendo como classificação principal areia litoclástica (AL1b), apresenta também baixas ($<15\%$) porcentagens de sedimentos cascalhosos, estando acima de 10% apenas no período seco de B6 (recife). Entretanto, os teores de lama são significativos ($>15\%$) nos pontos de B2 (mangue óleo) e B3 (mangue hotel) durante a estação seca (nov/2021), classificando-os como ambientes de lama terrígena (LL1). A porcentagem de lama se intensifica durante a estação chuvosa (abril-maio/2022) e, além de B2 e B3, B1 (canal estuarino do Massangana) também mostra dados de lama acima de 15% , sendo agora o terceiro ambiente a se enquadrar na classificação LL1. Segundo Barros et al. (2011), manchas de lama e de areia lamosa estão espalhadas em áreas de menor dinâmica do alto estuário do Massangana e do Cocaia, o que corroboram com uma menor hidrodinâmica em B2, alta (IIIB) (Pejrup, 1988). Oliveira et al. (2020; 2021) e Passos et al. (2021) também observaram um predomínio de sedimentos arenosos litoclásticos (AL1b) em testemunhos coletados em ambiente manguezal próximos a B2 (mangue hotel).

Amostras de Suape apresentam um baixo teor de CaCO_3 e são em sua maioria litoclásticas, apresentando apenas em B6 (recife) com conteúdo maior que 30% , sendo classificado como litobioclástico segundo Larrsoneur et al. (1982). De acordo com Oliveira et al. (2014), os percentuais acima de 6% de MOT indicam associação a sedimentos de característica lamosa, o que pode ser observado pela correlação de Pearson (Anexos 7 e 8) que mostra uma maior relação entre os pontos B1, B2 e B3, associados à áreas estuarinas abrigadas e de mangue, visto que estes apresentam maiores porcentagens de MOT e são classificados como lama terrígena (LL1), demonstrando esta dinâmica sedimentar menos intensa.

Segundo os dados de fração arenosa em conjunto com o índice BM, é dominante a porcentagem de sedimentos continentais em Suape. Com exceção de B6-recife, todas as amostras apresentaram índices BM inferiores a -0,90, o que evidencia uma grande presença de grãos de origem terrígena. Baptista Neto et al. (2004) explica que o teor composicional encontrado em amostras superficiais está diretamente relacionado aos padrões de entrada da maré no sistema estuarino e às chuvas, que influenciam no fluxo de água dos rios e na lixiviação de rochas emersas, proporcionando maior aporte de sedimentos continentais para regiões oceânicas costeiras.

Assim como observado por Barcellos et al. (2020), um predomínio de sedimentos terrígenos na plataforma interna de Pernambuco foi evidenciado na fração arenosa, a qual apresentou um domínio de sedimentos de quartzo em todas as frações, exceto na areia fina de nov/2021 em B6, onde o índice BM chegou a ficar positivo (0,07). As amostras de B6-recife apresentaram grande quantidade de fragmentos carbonáticos, o que é plausível levando em consideração que os recifes estão mais expostos à influência dos processos costeiros associados a ondas, marés e correntes da plataforma interna adjacente, que é formada e coberta principalmente por depósitos carbonáticos areno-cascalhosos (Melo et al., 2019; Barcellos et al., 2020) sendo uma fonte destes sedimentos.

Os grãos apresentam esfericidade elevada (0,7 e 0,9) em ambos os períodos, tendo esfericidade alta (0,7) em todos os pontos de nov/2021 e atingido o patamar de ultra esférico (0,9) em abril-maio/2022 (0,500mm B1 e B2). Entre a estação seca e a chuvosa o arredondamento teve alguns pontos angulosos (B3 e B4) em nov/2021 e em seguida permaneceram constantes em todas as frações em abril-maio/2022, classificadas como sub angulosas. A constância do arredondamento provavelmente está associada ao retrabalhamento pelas correntes estuarinas e da baía de Suape e seu meio de transporte aquoso por tração em constante contato com o fundo, conforme observado por Fabin et al. (2020). A textura superficial foi em geral polida, indicando retrabalhamento em meio aquoso, principalmente fluvial, mas também transicional estuarino. Nenhum fragmento de óleo foi registrado em lupa nas amostras de Suape.

5.3 RIO FORMOSO

O estuário do Rio Formoso é, em sua maioria, caracterizado como arenoso (Folk, 1954). As duas estações de C1 (mangue da Praia da Pedra) apresentam lama com mais de 15%, caracterizando o ambiente como lama terrígena (LL1). Em C3-prado arenoso (nov/2021) a porcentagem de lama também é significativa (>15%), mas como o presente ponto de coleta apresenta uma alta quantidade de CaCO_3 (>50%), ele é caracterizado como margas arenosa (LL2) (Larsonneur, 1977; Vital et al., 2005). Por apresentarem altos percentuais de areia, a hidrodinâmica do ambiente tende a aumentar, sendo muito alta (IVA e IVB) em todos os pontos, exceto em C1, que apresenta uma hidrodinâmica moderada (IIC) devido a sua grande porcentagem de lama (>50%) (Pejrup, 1988), o que faz sentido pelo fato de localizar-se em um manguezal na área estuarina mais interna. Santos e Barcellos (2017) também observaram lamas terrígenas (LL1) em amostras localizadas em baixios lamosos no médio e alto estuário do Rio Formoso. Estes mesmos autores corroboram a presença de areias litoclásticas (AL1b) e margas arenosas (LL2) no baixo estuário, tal qual observado nas amostras de nov/21 e abr-mai/22.

O ponto C1-praia de pedra é localizado no interior do estuário, estando mais distante da desembocadura do rio. Por mais que tenha continuado alta (>15%), a porcentagem de lama do mês de novembro/2021 esteve 33,4% maior quando comparado com abril-maio/2022, sugerindo uma mudança na energia do local que é explicada por águas mais calmas durante a estação seca que permitem a deposição de sedimentos finos (Veiga, 2022). Dentre os sedimentos finos (0,250mm) depositados em praia de pedra, observa-se uma quantidade significativa (>4,5%) de micas, o que corrobora com Veiga (2022) indicando uma fonte próxima, como algum tipo de afloramento de granito.

Ao observar o mapa de coleta (figura 4) temos C1 e C2 mais no interior do rio e C3, C4, C5 e C6 como pontos mais expostos, mas todos estão na retaguarda de uma barreira de recife que abrange todo o ambiente. Pelo fato da área fonte de CaCO_3 ser a Área de Preservação Ambiental Costa dos Corais e estar muito próxima ao estuário (Barcellos et al., 2013) é esperado que os sedimentos sejam encontrados em classes granulométricas maiores, visto que estruturas carbonáticas maiores demandam tempo e energia para serem fragmentadas em partículas finas (Barcellos et al., 2018; Barcellos e Furtado, 2001). Entretanto, Costa et al. (2015) infere que as características morfológicas dos fundos formados por recifes

promovem a atenuação da energia das ondas incidentes na área, favorecendo a deposição de sedimentos mais finos em áreas que são protegidas por recifes.

No que diz respeito ao teor de MOT e CaCO_3 , Rio Formoso, comparado com os outros estuários estudados, apresentou uma maior diferença nas amostras e a maior média de CaCO_3 (40,65% em nov/2021). A maior porcentagem de CaCO_3 foi caracterizada como bioclástico (Larrsoneur et al., 1982) (areia bioclástica (AB2b) (Vital et al., 2005) e estava presente na estação seca de C5-recife (78,53%), o que é explicado por ser localizado ao lado da fonte dos fragmentos carbonáticos. A MOT só foi significativa (>6%) na estação seca de C1, sendo correlacionada com a lama (anexo 9). Segundo Santos e Barcellos (2017), sedimentos localizados no alto estuário do Rio Formoso, coletados no inverno de 2014 e verão de 2015, apresentaram valores de Carbono orgânico acima do limite do CONAMA nº454, indicando contaminação orgânica que estaria associada aos efluentes dos tanques de carcinicultura locais.

O índice BM apresentou influência marinha em todas as frações de C5-recife, nas demais frações a influência foi continental, variando de -0,43 (C3-prado arenoso nov/2021) a -1 (todas as frações de C6-CEPENE e na fração de areia fina de C2-mariassú durante a estação chuvosa). No geral, minerais de quartzo e fragmentos carbonáticos são os principais constituintes da fração arenosa dessa região, estando presentes principalmente nas áreas de maior influência marinha como a desembocadura do rio e a plataforma continental interna (C3, C4 e C5). No caso dos pontos localizados mais no interior do estuário (C1 e C2) e na área de praia exposta (C6), a fração arenosa tem o predomínio de fragmentos vegetais e grãos de quartzo.

Os grãos apresentam esfericidade baixa e média na estação seca e tiveram um aumento para esfericidade alta durante a estação chuvosa, o que pode estar ligado à maior hidrodinâmica causada indiretamente pelas chuvas, devido ao aumento da vazão fluvial no período, conforme observado para as amostras de Catuama e Suape. O arredondamento se manteve igual (sub-arredondado) durante os meses de abril-maio/2022, o que provavelmente está associado ao retrabalhamento pelas correntes estuarinas.

A textura polida dos minerais dessa região indica que os mesmos vêm sendo trabalhados em meio aquoso, enquanto os sedimentos de C1 (nov 2021), que apresentam textura mais opaca, podem estar sujeitos a uma maior exposição subaérea ou a diminuição de tração no transporte devido à baixa hidrodinâmica

(moderada (IIC)) causada por sedimentos finos (lama) que podem se fixar nos grãos de areia do manguezal local (C1). Por fim, assim como Catuama e Suape, não foram observados fragmentos suspeitos de óleo no conjunto sazonal de amostras do Rio Formoso.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo mostra que os três estuários analisados apresentam alta (>70%) porcentagem de grãos arenosos em seus depósitos sedimentares, pouca (<10%) quantidade de cascalho em todas as regiões e uma porcentagem significativa (>15%) de lama durante o mês de novembro/2021 em ambientes no interior dos estuários. Devido a grandes porcentagens de areia, os pontos de coleta foram, em sua maioria, classificados como submetidos à hidrodinâmica muito alta.

O teor de carbonato de cálcio foi maior em Rio Formoso no mês de novembro (40,65%), foi sucedido pela estação chuvosa de Rio Formoso com 25,56% e apresentaram porcentagens médias em torno de 10% nos outros locais.

O teor de matéria orgânica é baixo (>15%) na em todos os pontos, tendo maiores concentrações (>6%) ligadas a locais no interior dos estuários, sendo pontos próximos a manguezal, indicando que esse material é de origem autóctone, principalmente de derivada de plantas superiores.

Na morfologia dos grãos, prevaleceram partículas com textura polidas, alta esfericidade e arredondamento subanguloso e anguloso, típicos de transporte pelo aporte fluvial e retrabalhamento subaquoso estuarino.

Os resultados da fração arenosa confirmaram o predomínio da influência continental na sedimentação em geral, nos quais o quartzo é o principal componente, seguido dos fragmentos vegetais. Fragmentos carbonáticos são os sedimentos de origem marinha mais comuns nas análises, em especial nas amostras de Rio Formoso, estando associados à presença da alta produção biogênica oriunda da APA Costa dos Corais, localizada próximo. Assim, o índice BM é majoritariamente continental, sendo marinho apenas na estação C5-Recife de Rio Formoso.

O óleo afetou ambientes que já vinham sendo há décadas impactados pela pressão antrópica (Araújo et al., 2007; Santos e Barcellos, 2017) e a operação de limpeza e remoção do óleo foi fundamental para recuperação mais rápida dos

ambientes. Por mais que tenham sido majoritariamente realizadas por voluntários, as limpezas foram imediatas e propiciaram que pouca quantidade de óleo percolasse pelo sedimento.

Assim, a hipótese não se confirma, pois o presente estudo mostra que não há mais vestígios de óleo aparentes nos locais estudados, podendo-se concluir que a dinâmica local em condições tropicais, junto com o trabalho dos voluntários, parecem ter sido fatores que diferenciaram para que os ambientes conseguissem ter uma boa recuperação em tão pouco tempo, quando comparado com o derrame na costa da Coréia do Sul (Yin et al., 2020).

Entretanto, estudos sazonais futuros ainda são importantes a fim de ter certeza que não há mais reincidência de óleos sendo exumados e trazidos novamente para a costa, como já ocorreu em anos pretéritos (Lourenço et al., 2020; Bontempo et al., 2022).

REFERÊNCIAS

- ALONGI, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3), 313–322. DOI: 10.4155/cmt.12.20
- ALONGI, D. M. (2020). Global Significance of Mangrove Blue Carbon in Climate Change Mitigation. *Sci*, 2(3), 67. DOI: 10.3390/sci2030067
- APAC. *Agência Pernambucana de Águas e Climas*, acessado em 10 de novembro de 2022 as 15:35. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/boletins>
- ARAÚJO, M. B. C. *et al.*, 2007. Análise da ocupação urbana nas praias de Pernambuco, Brasil. *Gestão Costeira Integrada*, 7(2), pp. 97-104.
- ARAÚJO, M. E., RAMALHO, C. W. N. & MELO, P. W., 2020. Artisanal fisheries, consumers and the environment: immediate consequences of the oil spill in Pernambuco, Northeast Brazil. *Cadernos de saúde pública*, 36(1).
- ARAÚJO, T.C.M., MALLMANN, D.L.B., CHAGAS, K., SÁ, L. A.C.M., 2011. *Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo do litoral de Pernambuco*. Recife : Linceu, 2011. 208 p. ISBN 978-85-8031-009-2
- ARRUDA, G. N., 2010. Avaliação das concentrações recentes e históricas de metais pesados nos sedimentos de fundo do estuário do Rio Formoso, Pernambuco, Recife. *Dissertação de Mestrado* – Universidade Federal de Pernambuco, 2010.
- BARCELLOS, R., & FURTADO, V. V. 2001. Caracterização dos componentes da fração arenosa (0,500 mm/0,250 mm) no Canal de São Sebastião (SP). *Pesquisas em Geociências*, 28(2), p. 35-51.

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

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

BARCELLOS, R. L., CAMARGO, J. M. R., FERREIRA JR., A. C., ARAÚJO, T. C. M., CONTI, L. A., VITAL, E. (2013). Geomorfologia da Plataforma Continental Sul do Estado de Pernambuco. *XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*.

BARROS, L. C., VALENÇA, L. M. M., SOUZA NETO, J. A. & COUTO JUNIOR, J. D. M. F., 2011. Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região interna de Suape - PE. *Revista de Geografia (Recife)*, 27(2. Esp), pp. 6-15.

BALTZER, F., 1890. La sédimentation et la diagenèse sur les côtes à mangrove en aval des massifs ultrabasiques en Nouvelle Calédonie. *O.R.S.T.O.M.*, Volume XII, pp. 175-189.

BAPTISTA NETO *et al.* 2004. *Introdução à Geologia Marinha*. Editora Interciência. 279p.

BRUM, H. H., CAMPOS-SILVA, J. V. & OLIVEIRA, E., 2020. Brazil oil spill response: Government inaction. *Science*, 367(6474), pp. 155-156.

BOCIU, I., SHIN, B., WELLS, W. B., KOSTKA, J. E., KONSTANTINIDIS, K. T., HUETTEL, M., 2019. Decomposition of sediment-oil agglomerates in a Gulf of Mexico sandy beach. *Scientific Reports* 9(1): pp.1-13.

BONTEMPO-FILHO, E. B. *et al.*, 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(2).

CÂMARA, S. F., PINTO, F. R., DE OLIVEIRA SOARES, M. & DE PAULA, T. M., 2021. Socioeconomic vulnerability of communities on the Brazilian coast to the largest oil spill (2019-2020) in tropical oceans. *Ocean & Coastal Management*, 202(105506).

CAMARGO, J. M. R., ARAUJO, T. C. M., MAIDA, M. & USHIZIMA, T. M., 2007. Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, Sul de Pernambuco - Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(1), pp. 79-89.

CARVER, R.E. (edt.) 1971. Procedures in sedimentary petrology. *WileyInterscience*, 653 pp.

CERQUEIRA, A.C.; MILANI, I.C.B.; PINHEIRO, A.A.L. (2021) Mapeamento das estruturas de defesa litorânea e mitigação de processos erosivos em Pernambuco – Brasil. *Recursos Hídricos: Gestão, planejamento e Técnicas em pesquisa*, Brasil, pp. 150-158. Doi:10.37885/210705484

CONTI, L. A., 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*, Volume 193, 2020, 105205, ISSN 0964-5691, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105205.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. *Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.* Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>.

CONDEPE/FIDEM 2006 Rio Una, GL 4 e GL5. *Recife: Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco.* 85p.

COSTA, M. B. S. F., ARAÚJO, M., ARAÚJO, T. C. M. & SIEGLE, E., 2015. Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. *Geomorphology*, 253(2016), pp. 318-327.

CPRH. GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco.* Recife (PE): CPRH/GERCO, 2003a. 211p.

CPRH. *Agência Estadual de Meio Ambiente*, acessado em 01 de dezembro de 2022 as 13:15 <http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/apa-de-guadalupe/>

DAVIS, R. A. & FOX, W. T., 1972. Coastal processes and nearshore sand bars.. *Journal of Sedimentary Petrology*, Volume 42, pp. 401-412.

FABIN, C. E. G. S. O., ARRUDA, S. D. A., MANSO, V. A. V. & LIMA, R. C. A., 2020. Balanço sedimentar da baía de Suape (PE) entre os anos de 1994 e 2007: Consequências ambientais. *Anuário do Instituto de Geociências*, 43(3), pp. 98-109.

FIGUEIREDO, J. A. *et al.*, 2006. Hidrologia e biomassa fitoplanctônica nas Barras Orange e Catuama (Canal de Santa Cruz), em Itamaracá-PE: Variação nictemeral. *LABOMAR - Arquivos de Ciências do Mar*, Volume 39, pp. 5-17.

FOLK, R. L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *The Journal of Geology*, 62(4), pp. 344-359.

GARCIA, K. S., OLIVEIRA, O. M. C., QUEIROZ, A. F. S. & ARGÔLO, J. L., 2007. Geoquímica de sedimentos de manguezal em São Francisco do Conde e Madre de Deus - BA. *Geochimica Brasiliensis*, 21(2), pp. 167-179.

GIRI, C., OCHIENG, E., TIESZEN, L.L., ZHU, Z., SINGH, A., LOVELAND, T., MASEK, J. E DUKE, N., Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 20, pp.154–159, 2011.

GUNDLACH, E. R., BOEHM, P. D., MARCHAND, M., ATLAS, R. M., WARD, D. M., WOLFE, D. A., 1983. The fate of Amoco Cadiz oil. *Science* 221(4606): pp. 122-129.

GUTERMAN L. 2009. Exxon valdez turns 20. *Science* 323(5921): 1558-1559. DOI: 10.1126/science.323.5921.1558.

HUBERT, J. F., 1971. Analysis of Heavy-mineral Assemblages. In: CARVER, R. E. (ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York, Wiley-Interscience. p.453-478.

HOEFEL, F. G., 1998. *Morfologia de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Itajaí: Editora da Univali.

HOWARD, J., HOYT, S., ISENSEE, K., TELSZEWSKI, M., & PIDGEON, E. (ORGS.). (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.

IBGE, 2021. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, acessado em 30 de novembro de 2022 as 10:45. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>

IBAMA, 2020. *INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS*, acessado em 30 de novembro de 2022 as 12:30 Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo-localidades-atingidas>

ITOPF, 2014. *TIP 02: Fate of marine oil spills*, London: s.n.

KÖPPEN W. 1936. Das geographische system der klimat. *Handbuch der klimatologie* 46.

KRUMBEIN, W. C. AND SLOSS, L. L. 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd ed. Freeman and Company, San Francisco, CA.

LARSONNEUR, C., 1977. La cartographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée em Manche. *Journal de Recherche Océanographique*, 2: pp. 33-39.

LARSONNEUR. C.: LLOUYSSC. R. & AUFRCL. J. R. 1982. Superficial Sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*, 29(6): 851-86.

LINDEBERG, M. R., MASELKO, J., HEINTZ, R. A., FUGATE, C. J., HOLLAND, L., 2018. Conditions of persistent oil on beaches in Prince William Sound 26 years after the Exxon Valdez spill. *Deep Sea research part II: Topical studies in Oceanography* 147: pp. 9-19.

LINO, A. P.; MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; LIMA, J. P.; ARAÚJO, A. S.; GONÇALVES, R. M.; OLINTO, A.; OLIVEIRA, A.; FISCHER, A.; ARAÚJO, R. J.; LIRA, V. A. (2014). *Mapeamento da linha de costa de Pernambuco*. Centro de

Tecnologia e Geociências, Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade, Recife/PE, 10 p.

LOURENÇO, R. A. *et al.*, 2020. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019-2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine Pollution Bulletin*, 156(111219).

LOVELOCK, C.E., FELLER, I.C., REEF, R. Mangrove dieback during fluctuating sea levels. *Sci. Rep.* 7, 1680. 2017.

MAGRIS, R. A. & GIARRIZZO, T., 2020. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. *Marine pollution Bulletin*, Volume 153.

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

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., 2018. Pernambuco. In: Muehe, Dieter, MMA. (Org) (Eds.), *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*, 1 ed., vol. 1. Brasília: Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente, pp. 345–380.

MEDEIROS C., KJERFVE B., 1993. Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá. *Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36: 495-515.

MELO, M. C. S. S., BARCELLOS, R. L., OLIVEIRA, L. E. E. & MANSO, V. A. V., 2019. Aspectos sedimentológicos e batimétricos da plataforma continental norte de Pernambuco - Brasil. *Estudos Geológicos*, 29(2), pp. 17-30.

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

NEUMANN, V. H.; LEITÃO, S. N.; MEDEIROS, C.; MAIA, L. P.. Estudos sedimentológicos, geomorfológicos e impactos ambientais causados pela implantação do porto na laguna de suape - pe. in: *xxxix congresso brasileiro de geologia*, 1998, Salvador. anais do xxxix congresso brasileiro de geologia: geologia e sociedade. Rio de Janeiro: sociedade brasileira de geologia, 1996. v. 4. p. 496-499.

OLIVEIRA, T.D.S., BARCELLOS, R.L., 2014. Caracterização sedimentológica e geoquímica do apicum do sistema estuarino do rio Itapessoca, Goiana, Pernambuco, Brasil. *Tropical Oceanography*, Recife 42, 94–111.

OLIVEIRA, T.S.; BARCELLOS, R.L.; SCHETTINI, C.A.F.; CAMARGO, P.B. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 14, n. 3, p. 399-412. 2014.

OLIVEIRA, B. F., SILVA, A.M.T., SILVA. M.A.C., NASCIMENTO NETO, F.C., CONTI. L.A.M., CUNHA-LIGNON, M., BARCELLOS, R.L. (2022) Caracterização

sedimentar do manguezal de Atapuz, Sistema Estuarino do Itapessoca (PE). *In: IV Simpósio Brasileiro de Geologia e Geofísica Marinha*, 2022, Salvador/Bahia.

OLIVEIRA, L. E. E., SANTOS, L. D., MONTES, M. J. F. & BARCELLOS, R. L., 2017. Influência da maré na variabilidade sedimentar da Barra de Catuama, Ilha de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. *Estudos Geológicos*, 27(2).

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), pp. 4-20.

OLIVEIRA, T.R.S., SANTOS, L.D., SILVA, J.C.A., EICHLER, P.P.B., BARCELLOS, R.L., 2019. Correlation between Textural Characteristics of Marine Sediments and Benthic Foraminifera in the Suape Port (PE-Brazil): an Environmental Study. ISSN: 0101- 9759, vol. 42. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, pp. 159–168, 2 e-ISSN 1982-3908.

OTSUKA, A.Y., FEITOSA, F.D.N., FLORES MONTES, M.D.J., HONORATO DA SILVA, M., TRAVASSOS, R. K., 2014. Condições ambientais do estuário do rio Botafogo (Itamaracá-Pernambuco-Brasil): clorofila a e algumas variáveis ambientais. *Tropical Oceanogr.* 42, 111–127.

PARDAL E.C., XAVIER D.A., OLIVEIRA I.M.V., MONTES M.D.J.F., BARCELLOS R.L., 2019. Variedade sedimentológica e geoquímica em um sistema estuarino tropical sob influência antrópica no nordeste brasileiro (Rio Capibaribe-PE). *Pesquisas em Geociências* 46(3).

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

PEREIRA, L., 2019. The geoheritage of the Paraíba state South Coast, Brazil. *Int. J. Earth Sci. Geol.* 1, 16–23.

RIYIS, M. T., JESUS, L. S. & GIACHETI, H. L., 2019. Varredura vertical de amostras de solo com LNAPL utilizando dispositivo de baixo custo com luz ultravioleta. *Águas Subterrâneas*, 33(3), pp. 247-257.

SANTANA, N.M.G., 2013. Apicuns de Barra de Catuama-PE: análise espaço temporal e características físicas e químicas dos sedimentos. *Dissertação de Mestrado – UFPE*. Recife.

SANTOS, U. S. T. (2008). Avaliação geoambiental das praias do município de Jaboatão dos Guararapes, região metropolitana de Recife. *Dissertação de Mestrado – UFPE*, Recife/PE, 115 p.

SANTOS, L. D. & BARCELLOS, R. L., 2017. Sedimentação atual do estuário do Rio Formoso - PE (Brasil). *s.l.:Saarbrücken: NEA-Edições*.

SETUR/CPRH, 2011 *Área de Proteção Ambiental de Guadalupe: encate 3, análise da unidade de conservação*. Recife. 206p.

SILVA, L. S. C., PICANÇO, J. L. & CALIL, J. G. S., 2020. O grande desastre esquecido: Análise preliminar do derramamento de óleo na costa brasileira (agosto/2019 - março/2020) e seus impactos no litoral da Bahia. *Revista UFMG*, 27(2), pp. 54-79.

SILVA, D. C. P. *et al.*, 2021. Derramamento de óleo no mar e implicações tóxicas da exposição aos compostos químicos do petróleo. *Contexto & Saúde*, 21(44), pp. 332-344.

SWIFT, D. J. P., 1976. Coastal Sedimentation. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. s.l.:s.n., pp. 255-310.

SUGUIO, K., 2003. *Geologia Sedimentar*. 1 ed. São Paulo: Blucher.

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

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

TURNER, A. & MILLWARD, G. E., 2002. Suspended particles: Their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine, coastal and shelf science*, Volume 55, pp. 857-883.

ULISOY, U., 2023. A Review of Particle Shape Effects on Material Properties for Various Engineering Applications: From Macro to Nanoscale. *Minerals* 2023, 13, 91. DOI: 10.3390/min13010091

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. 2021. 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, v. 2, p. 1-18.

Veiga, T. T. 2022. Interpretção de dados da fração arenosa (0,250mm e 0,500mm) como estudo complementar na caracterização de ambientes sedimentares costeiros. *TCC, Bacharelado em Oceanografia, UFPE*. Recife (PE), 79p.

VITAL, H., SILVEIRA, I.M.D. AND AMARO, V.E., 2005. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira: Área Guamaré a Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológicos e Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23, 233-241. DOI: 10.1590/S0102-261X2005000300003

WARNOCK, A. M., HAGEN, S. C., PASSERI, D. L., 2015. Marine tar residues: a review. *Water, Air Soil Pollut* 226(3): pp.1-24.

WOLANSKI E., MCLUSKY D., 2011. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Academic Press. ISBN 9780080878850, DOI: 10.1016/B978-0-12-374711-2.09006-9.

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

WHITFIELD, A. K., ELLIOTT, M.; BASSET, A.; BLABER, S. J. M.; WEST, R. J., 2012. Paradigms in estuarine ecology – A view of the Remane diagram with a suggested revised model for estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci*, v. 97, p. 78-90, 2012.

YIM UH *et. al.* 2020. Rapid recovery of coastal environment and ecosystem to the Hebei Spirit oil spill's impact. *Environ Int* 136: 105438.

ANEXO 5: Correlação de Pearson de Catuama em Novembro de 2021.

Catuama Nov/2021					
Correl. Pearson	% Casacalho	% Areia	%Lama	(% MOT)	%COT (Allen 1974)
% Casacalho	1,00	X	X	X	X
% Areia	-0,36	1,00	X	X	X
% Lama	-0,43	-0,69	1,00	X	X
% MOT	-0,53	-0,31	0,71	1,00	X
% COT (Allen, 74)	-0,53	-0,31	0,71	1,00	1,00
% CaCO₃	0,17	-0,45	0,30	0,63	0,63

ANEXO 6: Correlação de Pearson de Catuama em Abril-Maio de 2022.

Catuama Abr-Mai/2022					
Correl. Pearson	% Casacalho	% Areia	%Lama	(% MOT)	%COT (Allen 1974)
% Casacalho	1,00	X	X	X	X
% Areia	-0,47	1,00	X	X	X
% Lama	-0,28	-0,71	1,00	X	X
% MOT	-0,34	-0,63	0,95	1,00	X
% COT (Allen, 74)	-0,34	-0,63	0,95	1,00	1,00
% CaCO₃	0,05	-0,72	0,74	0,75	0,75

ANEXO 7: Correlação de Pearson de Suape em Novembro de 2021.

Suape Nov/2021					
Correl. Pearson	% Casacalho	% Areia	%Lama	(% MOT)	%COT (Allen 1974)
% Casacalho	1,00	X	X	X	X
% Areia	-0,33	1,00	X	X	X
% Lama	0,02	-0,95	1,00	X	X
% MOT	-0,11	-0,82	0,90	1,00	X
% COT (Allen, 74)	-0,11	-0,82	0,90	1,00	1,00
% CaCO₃	0,98	-0,51	0,22	0,10	0,10

ANEXO 8: Correlação de Pearson de Suape em Abril-Maio de 2022.

Suape Abr-Mai/2022					
Correl. Pearson	% Casacalho	% Areia	%Lama	(% MOT)	%COT (Allen 1974)
% Casacalho	1,00	X	X	X	X
% Areia	0,75	1,00	X	X	X
% Lama	-0,85	-0,99	1,00	X	X
% MOT	-0,70	-0,99	0,97	1,00	X
% COT (Allen, 74)	-0,70	-0,99	0,97	1,00	1,00
% CaCO₃	0,59	0,35	-0,43	-0,28	-0,28

ANEXO 9: Correlação de Pearson de Rio Formoso em Novembro 2021.

Rio Formoso Nov/2021					
Correl. Pearson	% Cascalho	% Areia	%Lama	(% MOT)	%COT (Allen 1974)
% Cascalho	1,00	X	X	X	X
% Areia	0,23	1,00	X	X	X
% Lama	-0,33	-0,99	1,00	X	X
% MOT	-0,36	-0,96	0,97	1,00	X
% COT (Allen, 74)	-0,36	-0,96	0,97	1,00	1,00
% CaCO₃	0,88	0,18	-0,27	-0,25	-0,25

ANEXO 10: Correlação de Pearson de Rio Formoso em Abril-Maio de 2022.

Rio Formoso Abr-Mai/2022					
Correl. Pearson	% Cascalho	% Areia	%Lama	(% MOT)	%COT (Allen 1974)
% Cascalho	1,00	X	X	X	X
% Areia	0,15	1,00	X	X	X
% Lama	-0,29	-0,99	1,00	X	X
% MOT	-0,27	-0,98	0,99	1,00	X
% COT (Allen, 74)	-0,27	-0,98	0,99	1,00	1,00
% CaCO₃	0,96	0,22	-0,35	-0,31	-0,31

ANEXO 11: Granulometria, percentuais de CaCO₃, MOT e COT, faciologia, dinâmica sedimentar das amostras de Catuama em Novembro de 2021.

Catuama Nov/2021										
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama	% MOT	%COT (Allen 1974)	% CaCO ₃	Folk (1954)	Larrsoneur (1977)	Larrsoneur et al. (1982)	Pejrup (1988)
A1- Atapuz Prado Lamoso	10,88	77,56	11,56	1,43	0,83	14,19	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
A2- Atapuz Franja Mangue	0,31	72,64	27,05	4,23	2,45	16,54	Areia Lamosa	Lama terrígena (LL1)	Litoclástico	Alta (IIIB)
A3- Itapessoca	0,84	72,9	26,26	1,67	0,97	6,81	Areia Lamosa	Lama terrígena (LL1)	Litoclástico	Alta (IIIB)
A4- Prado arenoso	0,79	95,03	4,18	2,19	1,27	14,19	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
A5- Praia	0,09	99,62	0,29	0,77	0,45	1,84	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
A6- Recife	23,56	75,84	0,6	0,48	0,28	11,12	Areia Cascalhosa	Areia Litoclástica com grânulos e cascalhos (AL1a)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
Média	6,08	82,27	11,66	1,80	1,04	10,78	-	-	-	-
Desvio Padrão	9,52	11,90	12,31	1,34	0,78	5,52	-	-	-	-

ANEXO 12: Granulometria, percentuais de CaCO₃, MOT e COT, faciologia, dinâmica sedimentar das amostras de Catuama em abril-maio de 2022.

Catuama Abr-Mai/2022										
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama	% MOT	%COT (Allen 1974)	% CaCO ₃	Folk (1954)	Larrsoneur (1977)	Larrsoneur et al. (1982)	Pejrup (1988)
A1- Atapuz Prado Lamoso	0,51	98,68	0,81	2,01	1,17	2,99	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
A2- Atapuz Franja Mangu	0,98	80,19	18,83	4,68	2,71	23,99	Areia	Lama terrígena (LL1)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
A3- Itapessoca	2,75	96,15	1,1	1,75	1,02	17,89	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
A4- Prado arenoso	4,15	90,77	5,08	2,67	1,55	12,51	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
A5- Praia	0,7	99,18	0,12	0,77	0,45	0,81	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
A6- Recife	15,61	84,05	0,34	1,13	0,66	10,98	Areia	Areia Litoclástica com grânulos e cascalhos (AL1a)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
Média	4,12	91,50	4,38	2,17	1,26	11,53	-	-	-	-
Desvio Padrão	5,80	7,95	7,31	1,40	0,81	8,77	-	-	-	-

ANEXO 13: Granulometria, percentuais de CaCO₃, MOT e COT, faciologia, dinâmica sedimentar das amostras de Suape em novembro de 2021.

Suape Nov/2021										
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama	% MOT	%COT (Allen 1974)	% CaCO ₃	Folk (1954)	Larrsoneur (1977)	Larrsoneur et al. (1982)	Pejrup (1988)
B1- Massangana	0,09	95,4	4,51	1,73	1,00	1,92	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
B2- Mangue com Óleo	0,13	63,95	35,92	8,22	4,77	7,13	Areia Lamosa	Lama terrígena (LL1)	Litoclástico	Alta (IIIB)
B3- Mangue Hotel	0,09	82,98	16,93	7,68	4,45	5,81	Areia	Lama terrígena (LL1)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
B4- Prado	0,02	97,16	2,82	1,18	0,68	1,17	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
B5- Praia	0,05	99,5	0,44	1,04	0,60	1,25	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)
B6- Recife	10,75	76,85	12,41	3,03	1,76	30,55	Areia	Areia lito-bioclástica (AL2b)	Litobioclástico	Muito Alta (IVB)
Média	1,86	85,97	12,17	3,81	2,21	7,97	-	-	-	-
Desvio Padrão	4,36	13,96	13,19	3,28	1,91	11,34	-	-	-	-

ANEXO 14: Granulometria, percentuais de CaCO₃, MOT e COT, faciologia, dinâmica sedimentar das amostras de Suape em abril-maio de 2022.

Suape Abr-Mai/2022										
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama	% MOT	%COT (Allen 1974)	% CaCO ₃	Folk (1954)	Larrsoneur (1977)	Larrsoneur et al. (1982)	Pejrup (1988)
B1- Massangana	0,41	83,6	15,99	5,97	3,46	5,03	Areia	Lama Terrígena (LL1)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
B2- Mangue com Óleo	0,61	81,05	18,34	7,66	4,44	9,91	Areia	Lama Terrígena (LL1)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
B3- Mangue Hotel	0,11	70,93	28,96	11,89	6,90	8,66	Areia Lamosa	Lama Terrígena (LL1)	Litoclástico	Alta (IIIB)
B4- Prado	4,99	89,96	5,05	2,93	1,70	6,52	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
B5- Praia	1,31	89,08	9,6	2,13	1,24	5,34	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)
B6- Recife	5,15	91,92	2,93	2,21	1,28	30,14	Areia	Areia lito-bioclástica (AL2b)	Litobioclástico	Muito Alta (IVA)
Média	2,10	84,42	13,48	5,47	3,17	10,93	-	-	-	-
Desvio Padrão	2,34	7,78	9,66	3,86	2,24	9,60	-	-	-	-

ANEXO 15: Granulometria, percentuais de CaCO₃, MOT e COT, faciologia, dinâmica sedimentar das amostras de Rio Formoso em novembro de 2021.

Rio Formoso Nov/2021											
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama	% MOT	%COT (Allen 1974)	% CaCO ₃	Folk (1954)	Larrsoneur (1977)	Larrsoneur et al. (1982)	Pejrup (1988)	
C1- Praia de Pedra	0,16	46,88	52,96	7,63	4,43	20,4	Lama Arenosa	Lama Terrígena (LL1)	Litoclástico	Moderada (IIC)	
C2- Mariassu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C3- Prado Arenoso	2,88	79,7	17,42	2,19	1,27	58,66	Areia	Marga arenosa (LL2)	Biolitoclástico	Muito Alta (IVB)	
C4- Praia	0,45	98,68	0,87	1,84	1,07	43,99	Areia	Areia lito-biolástica (AL2b)	Litobioclástico	Muito Alta (IVA)	
C5- Recife	5,96	94,03	0	1,07	0,62	78,53	Areia	Areia bioclástica (AB2b)	Bioclástico	Muito Alta (IVA)	
C6- CEPENE	0,12	99,75	0,13	0,46	0,27	1,69	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)	
Média	1,91	83,81	14,28	2,64	1,53	40,65	-	-	-	-	
Desvio Padrão	2,54	22,14	22,86	2,87	1,66	30,41	-	-	-	-	

ANEXO 16: Granulometria, percentuais de CaCO₃, MOT e COT, faciologia, dinâmica sedimentar das amostras de Rio Formoso em abril-maio de 2022.

Rio Formoso Abr-Mai/2022											
ESTAÇÃO	% Cascalho	% Areia	% Lama	% MOT	%COT (Allen 1974)	% CaCO ₃	Folk (1954)	Larrsoneur (1977)	Larrsoneur et al. (1982)	Pejrup (1988)	
C1- Praia de Pedra	0,08	80,36	19,56	4,65	2,70	12,6	Areia	Lama Terrígena (LL1)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)	
C2- Mariassu	0,12	89,6	10,28	2,8	1,62	8,94	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVB)	
C3- Prado Arenoso	0,22	99,56	0,22	1,25	0,73	22,02	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)	
C4- Praia	0	99,86	0,14	0,9	0,52	25,41	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)	
C5- Recife	2,92	96,88	0,2	0,92	0,53	82,91	Areia	Areia bioclástica (AB2b)	Bioclástico	Muito Alta (IVA)	
C6- CEPENE	0	99,95	0,05	0,57	0,33	1,45	Areia	Areia litoclástica (AL1b)	Litoclástico	Muito Alta (IVA)	
Média	0,56	94,37	5,08	1,85	1,07	25,56	-	-	-	-	
Desvio Padrão	1,16	7,92	8,17	1,58	0,92	29,42	-	-	-	-	

ANEXO 17: Fotos de amostras.

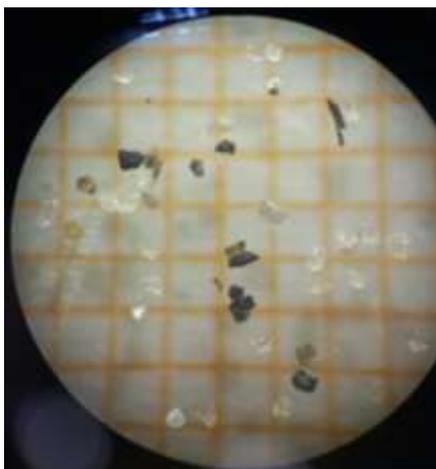


Foto 1 - Amostra com quartzo, mica e fragmento vegetal retirada de Praia de Pedra, Rio Formoso na fração de 0,250mm.

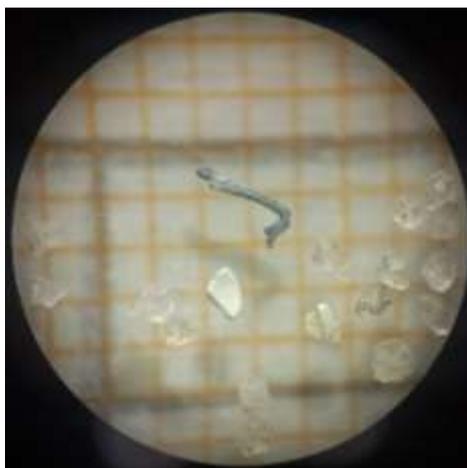


Foto 2 - Amostra com metal em Itapessoca, Catuama na fração de 0,500mm

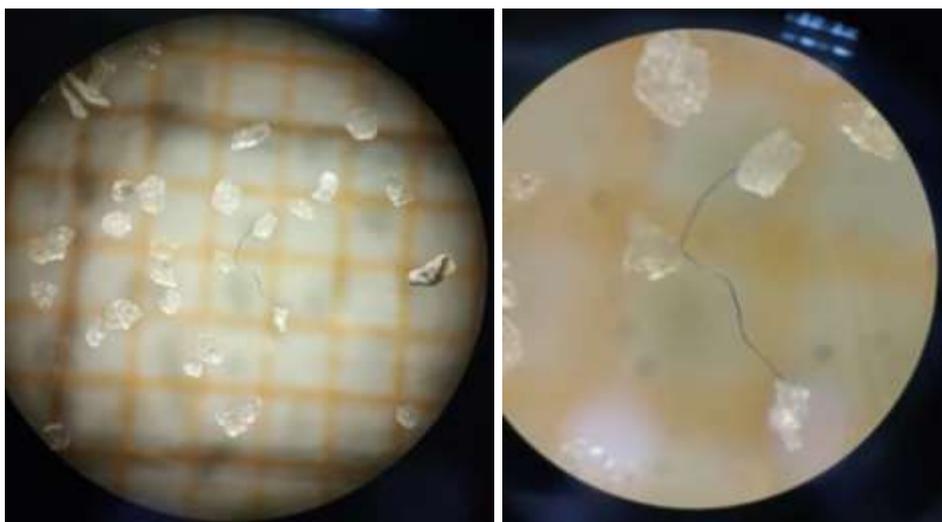


Foto 3 - Fotos do microplástico encontrado no ponto A5-Praia, em Catuama na fração de 0,250mm.

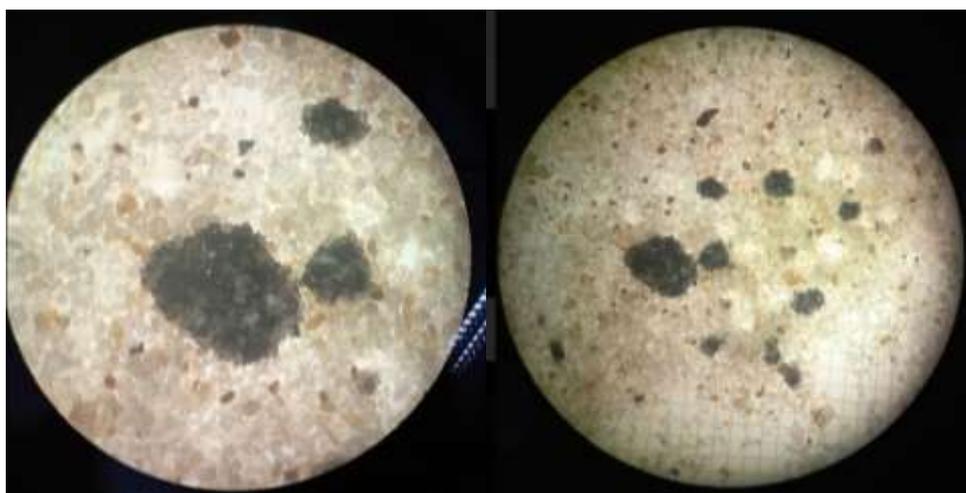


Foto 4 - Amostra contaminada coletada na Praia de Itapuama durante a limpeza de 2019. (à nível de comparação de sedimento sujo com óleo)