



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

NALBERT MACIEL GOMES

**PALEOMANGUES: INDICADORES NATURAIS DE EROSÃO COSTEIRA DE
LONGO TERMO NA ILHA DO MARANHÃO**

**SÃO LUÍS/MA
2025**

NALBERT MACIEL GOMES

**PALEOMANGUES: INDICADORES NATURAIS DE EROSÃO COSTEIRA DE
LONGO TERMO NA ILHA DO MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão como
pré-requisito para obtenção do grau de
bacharelado em Oceanografia.

Orientador (a): Prof. Dr. Leonardo
Gonçalves de Lima

Coorientador (a): Profa. Dra. Flávia Rebelo
Mochel

SÃO LUÍS/MA
2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Maciel Gomes, Nalbert.

PALEOMANGUES: INDICADORES NATURAIS DE EROSÃO COSTEIRA
DE LONGO TERMO NA ILHA DO MARANHÃO / Nalbert Maciel Gomes.
- 2025.
42 f.

Coorientador(a) 1: Flávia Rebelo Mochel.

Orientador(a): Leonardo Gonçalves de Lima.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Manguezais. 2. Zona Costeira. 3. Praias. 4.
Maranhão. 5. Ponta D Areia. I. Gonçalves de Lima,
Leonardo. II. Rebelo Mochel, Flávia. III. Título.

**PALEOMANGUES: INDICADORES NATURAIS DE EROSÃO COSTEIRA DE
LONGO TERMO NA ILHA DO MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão para
obtenção do grau de bacharelado em
Oceanografia.

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Leonardo Gonçalves de Lima. (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Francisco Sekiguchi de Carvalho e Buchmann (Titular)
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Jorge Hamilton Souza dos Santos (Titular)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha avó e a minha mãe, que sempre me apoiaram e deram força nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem ele eu não chegaria aonde eu cheguei com força, fé e sabedoria.

Agradeço especialmente a minha avó Maria de Lourdes, que sempre me ajudou e me proporcionou chegar aonde eu cheguei. Foram suas orações, suas histórias, seu carinho e todo seu amor que me ajudaram a trilhar esse caminho árduo até aqui. Te amo vó.

Agradeço também aos meus pais, Jozuel e Livia, que sempre me apoiaram nas minhas escolhas, sempre me deram força e incentivo para continuar. Sem vocês eu não estaria aqui hoje escrevendo esses agradecimentos. Obrigado por tudo. Amo vocês. Agradeço também a minha irmã Rebeca, por sempre me descontrair nos momentos em que eu mais precisava, te amo irmã.

Agradeço também a minha comadre e prima Hellen, que sempre escutou meus problemas e me ajudou com os melhores conselhos, demos boas risadas juntos. Nossos momentos de cinéfilos foram ótimos para me distrair e me ajudar a continuar. Amo você e meus sobrinhos, Clara, Fábio, Miguel e minha afilhada que eu tanto amo Alana.

À minha melhor amiga Jade, que agradecer por me suportar por toda essa jornada, que só nós sabemos o quanto foi difícil. A gente se conheceu porque somos dois ansiosos e no final nossa amizade perdurou até o final. Sou extremamente grato pelas nossas conversas, tanto as bobas como as sérias. Você deixou tudo mais leve, com seu jeitinho meio louco de viver a vida, amo cada momento e experiência que tivemos juntos. Amo-te, e para sempre serão nós dois, minha duplinha.

À pessoa que mais me tirou a paciência durante todo o curso, meu amigo Magno, obrigado por estar presente e me ajudar a vencer os milhares de obstáculos durante a jornada acadêmica, foi esse seu jeito de fazer as piores piadas que me ajudaram até o fim, e a dar boas risadas.

Às minhas calourinhas favoritas, Lays e Suzany, saibam que vocês chegaram devagar e aos poucos conquistaram um espaço no meu coração. Obrigado por me suportarem e por me proporcionarem bons momentos, estes vão ficar guardados para sempre em minha memória. Amo vocês.

Ao meu estimado orientador Leonardo, gostaria de agradecer por permitir conhecer melhor a geologia que o senhor tanto ama, e me fez amá-la também. A sua ajuda foi

incondicional para concretização desse sonho de me tornar Oceanógrafo.

A minha queridíssima coorientadora Flávia Mochel, obrigado por ser tão parceira e por sempre me dá ótimos conselhos, ser uma boa ouvinte e uma pessoa maravilhosa. Eu digo para mim mesmo a senhora plantou uma sementinha de mangue no meu coração, e me fez amar e abrir meus horizontes para os manguezais.

A minha amiga Ana Laura, que viveu intensamente comigo, e sempre me ajudou em tudo que eu precisava.

Aos meus amigos de laboratório, vulgo LEOG, quero agradecer por escutar meus problemas e me ajudarem de alguma forma. Nalu, Gutemberg, Priscila, Antônio e Rivaldo, esse trabalho também é por vocês.

Agradeço também a todas aquelas pessoas que direta e indiretamente me ajudaram a chegar ao fim dessa jornada.

*“Então, eu me sinto feliz. E todas
as estrelas riem docemente.”*

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

A erosão costeira é um processo natural intensificado pelas atividades humanas e mudanças climáticas. Em muitas regiões ao redor do mundo, incluindo o Brasil, o fenômeno tem causado sérios impactos nas praias e zonas costeiras. O presente trabalho foca na relação entre os afloramentos de sedimentos de paleomangues e a erosão costeira na Praia da Ponta d'Areia, localizada na Ilha do Maranhão. A área de estudo é caracterizada por dois morfotipos de barreiras costeiras (*mainland beach barrier e headland spit barrier*), que são influenciados por processos sedimentares. O estudo foi realizado por meio de sondagens geológicas, coletas de amostras superficiais, permeabilidade, compactação, matéria orgânica e modelos digitais de elevação. As observações *in situ* identificaram troncos de mangue em posição de vida, pneumatóforos e incrustações de conchas, evidenciando que a região já foi um ambiente de manguezal. As análises granulométricas indicaram uma predominância de areias finas e médias, com algumas áreas apresentando maior quantidade de silte e argila. A compactação do solo foi menor nas áreas com afloramentos de paleomangue, enquanto as regiões com sedimentos arenosos ou rochas lateríticas apresentaram maior compactação. A permeabilidade do solo variou, sendo mais elevada nas áreas com areias finas e médias e mais baixa nas áreas com sedimentos lamosos (silte + argila). A sondagem geológica revelou três fácies sedimentares distintas, incluindo uma fácies arenosa inferior com presença de material orgânico e fragmentos vegetais, uma fácies siltosa com alta quantidade de matéria orgânica e uma fácies arenosa superior com menor conteúdo orgânico. Além disso, o modelo digital de elevação permitiu a visualização precisa das variações altimétricas da região e indicou zonas de maior erosão.

Palavras-chave: Manguezais, zona costeira, praias, Maranhão, Ponta d'Areia.

ABSTRACT

Coastal erosion is a natural process intensified by human activities and climate change. In many regions around the world, including Brazil, the phenomenon has caused serious impacts on beaches and coastal zones. This study focuses on the relationship between outcrops of paleomangroves sediments and coastal erosion at Ponta d'Areia Beach, located on the island of Maranhão. The study area is characterized by two coastal barrier morphotypes (mainland beach barrier and headland spit barrier), which are influenced by sedimentary processes. The study was carried out using geological surveys, surface sampling, permeability, compaction, organic matter and digital elevation models. In situ observations identified mangrove trunks in a living position, pneumatophores and shell encrustations, showing that the region was once a mangrove environment. The granulometric analyses indicated a predominance of fine and medium sands, with some areas showing greater amounts of silt and clay. Soil compaction was lower in areas with paleomangrove outcrops, while regions with sandy sediments or lateritic rocks showed greater compaction. Soil permeability varied, being higher in areas with fine and medium sands and lower in areas with muddy sediments (silt + clay). The geological survey revealed three distinct sedimentary facies, including a lower sandy facies with organic material and plant fragments, a silty facies with a high amount of organic matter and an upper sandy facies with a lower organic content. In addition, the digital elevation model allowed precise visualization of the region's altimetric variations and indicated areas of greater erosion.

Keywords: Mangroves, coastal zone, beaches, Maranhão, Ponta d'Areia.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	Objetivo Geral.....	13
2.2.	Objetivos Específicos	13
3.	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1.	Área de Estudo.....	15
4.2.	Sondagem geológica e amostras superficiais	16
4.3.	Matéria Orgânica	17
4.4.	Permeabilidade e Compactação	18
4.5.	Modelo Digital Elevação (MDE)	19
5.	Resultados	19
5.1.	Observações <i>in situ</i>	19
5.2.	Granulometria superficial	22
5.3.	Compactação	25
5.4.	Permeabilidade	26
5.5.	Sondagem a Percussão.....	27
5.6.	Matéria Orgânica	30
5.7.	Modelo Digital de Elevação (MDE).....	30
6.	DISCUSSÃO.....	32
7.	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O processo erosivo é algo natural, a erosão costeira pode ser definida como o recuo da linha costeira causada por agentes físicos (ondas, marés, ventos), e outros processos, que deslocam esses sedimentos e os depositam em outros lugares (PRASAD & KUMAR, 2014). A erosão costeira tem se intensificado pelas mudanças climáticas e as atividades humanas, alterando assim os processos naturais de manutenção das praias e costas de todo o mundo (PRASAD & KUMAR, 2014).

O problema da erosão costeira é evidenciado em costas de todo mundo, como nos Estados Unidos (ALESSIO *et al.*, 2020), no Chile (MARTÍNEZ *et al.*, 2021), na Argentina (GARZO *et al.*, 2023), na Itália (BIONDO *et al.*, 2020), na China (CAI *et al.*, 2022) e na Turquia (GÜL *et al.*, 2020). Segundo Bozzeda *et al.* (2023) os pivôs da erosão das praias são principalmente as mudanças climáticas e a ação antropogênica que intensificam o processo que já ocorre naturalmente.

No Brasil não é diferente, em diversos estados o processo de erosão costeira tem sido cada vez mais comuns (MUEHE, 2011; MAZZER *et al.*, 2008; PINHEIRO *et al.*, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2019; KOERNER *et al.*, 2013). Desse modo, entender melhor esse fenômeno é essencial para mitigação de problemas futuros nas praias de todo litoral brasileiro.

Nas praias costeiras da Ilha do Maranhão, as barreiras arenosas desempenham um papel fundamental como parte de sistemas de barreiras, que podem ser divididas em dois morfotipos distintos (LIMA *et al.*, 2020). O primeiro desses morfotipos é denominado barreiras de praias anexadas (*mainland beach barrier*), as quais são caracterizadas por uma topografia pré-existente, como as falésias pertencentes à Grupo Itapecuru. Essas barreiras apresentam uma inclinação acentuada e um contínuo processo de perda de areia nas áreas da costa sujeitas à erosão (ROY *et al.*, 1994). O segundo morfotipo refere-se às barreiras de esporões arenosos que se conectam a promontórios, também conhecidas como barreiras de esporões de cabeços de promontórios (*headland spit barrier*). Essas barreiras são diferenciadas por um sistema laguna-barreira ancorado em afloramentos rochosos, como as falésias da Grupo Itapecuru (BRANNER, 1902; CAMPBELL, 1949; BIGARELLA, 1964).

As barreiras de esporões arenosos ligadas a cabeços de promontórios se desenvolvem em áreas onde há uma variação abrupta na orientação da linha de costa ou onde a topografia antecedente é mais resistente à erosão marinha, além disso, esse morfotipo é formado através de um amplo transporte de sedimentos pela deriva litorânea, cuja continuação geralmente é

interrompida pelo fenômeno conhecido como espigão hidráulico, essa interrupção ocorre em locais onde há elevados prismas de maré nas desembocaduras fluviais (LIMA *et al.*, 2020).

Ambos os morfotipos de barreiras costeiras presentes na orla oceânica da Ilha do Maranhão estão associados à erosão costeira (LIMA *et al.*, 2020, 2022). Os autores também sugerem que a exposição de sedimentos lagunares (paleomangues) no estirâncio pode indicar que o fenômeno de erosão do litoral ocorre em escalas de longo prazo (LIMA *et al.*, 2020, 2022). Na praia da Ponta d'Areia, duas intervenções humanas tiveram um impacto crucial na alteração do equilíbrio sedimentar: a construção da Barragem do Bacanga e a construção de um espigão rochoso. Essas modificações resultaram em uma redução significativa do prisma de maré no estuário do Rio Anil, causando o desaparecimento do espigão hidráulico natural e a formação de um grande delta de maré vazante na foz do estuário (Banco da Minerva) (ALBUQUERQUE, 2018; LIMA *et al.*, 2020). Como resultado, após 10 anos da construção do espigão, sedimentos lagunares, evidenciados em sondagens realizadas por Albuquerque (2018) e Lima *et al.* (2020), passaram a aflorar na linha de costa.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é entender a relação entre os afloramentos de sedimentos lagunares (paleomangues) e a erosão costeira na Praia da Ponta d' Areia, São Luís - MA, por meio da morfodinâmica costeira e paleogeografia destes ambientes deposicionais.

2.2. Objetivos Específicos

- Elucidar a estratigrafia da área de estudo, por meio de sondagem geológica;
- Averiguar a granulometria, compactação e permeabilidade dos sedimentos da praia e de paleomangues aflorantes na praia, por meio da amostragem superficial e sondagem;
- Definir com o maior nível de precisão possível as cotas topográficas dos afloramentos lagunares expostos na zona intermarés.
- Identificar o conteúdo paleontológico presente nos afloramentos lagunares expostos na zona intermarés, bem como das sondagens realizadas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A erosão costeira é um fenômeno que ocorre naturalmente e que resulta da interação de vários fatores, incluindo o aumento do nível relativo do mar, a ação das ondas e correntes marítimas, e o impacto das atividades humanas (PRASAD & KUMAR, 2014). Entretanto, o fenômeno se intensifica com as alterações climáticas e a construção de infraestruturas costeiras, como os espigões costeiros (SOUZA, 2009). E com o passar do tempo, diversos indicadores geológicos, como os depósitos de paleomangue, se tornaram essenciais para entender os padrões históricos da erosão e suas implicações para o futuro das zonas costeiras.

Meireles *et al.* (2005), destaca como a integração dos indicadores geoambientais pode ajudar a reconstruir os padrões históricos de erosão costeira ao longo do litoral. Os autores discorrem que os sedimentos de paleomangue que foram identificados em seu trabalho servem como indicadores naturais importantes para as mudanças nos níveis relativos do mar e as flutuações climáticas. Isso reflete, que os paleomangues são excelentes indicadores para entender como as mudanças ambientais passadas influenciam os padrões de erosão costeira atuais.

De acordo com Araújo *et al.* (2019) a presença depósitos de paleomangues ao longo das costas ajuda a determinar a relação entre os processos naturais de erosão e a intensidade das flutuações climáticas que ocorreram ao longo dos séculos. Além disso, Meireles (2002) destaca que além dos manguezais modernos, os depósitos de paleomangue têm um papel essencial para a análise da evolução da linha de costa e as implicações desses processos para o planejamento sustentável da zona costeira. Santos e Amaro (2013) por sua vez, discutem a importância dos manguezais atuais como defesas naturais contra a erosão costeira, assim como a relevância dos vestígios paleomangue para reconstruir o comportamento da linha de costa ao longo do tempo.

Sugiuo (2003) sugere que as variações no nível do mar, indicadas pelos depósitos de paleomangue, são cruciais para prever as tendências futuras da erosão costeira, particularmente em regiões costeiras vulneráveis. Novaes *et al.* (2024) argumenta que os paleomangues, quando combinados com outros indicadores, são vitais para a compreensão dos impactos das variações climáticas e das atividades humanas na erosão. Além disso, a autora enfatiza como esses indicadores podem ser usados para prever a evolução das zonas costeiras no contexto das mudanças climáticas globais.

Lima (2012) relata que os paleomangues, em conjunto com outros indicadores geomorfológicos, ajudam a avaliar a intensidade da erosão nas praias semiurbanas e naturais. A presença de depósitos de paleomangue sugere que a erosão costeira na região não é apenas um fenômeno recente, mas que tem raízes profundas nas variações do nível do mar.

Segundo Ranieri (2014) a morfodinâmica costeira e a presença de depósitos de paleomangue podem auxiliar no planejamento e gestão das áreas costeiras. O autor ainda fomenta que esses depósitos fornecem uma visão sobre os ciclos históricos de erosão e sedimentação, ajudando a identificar áreas vulneráveis à erosão futura.

Segundo Paula (2013) os paleomangues presentes em áreas de maior erosão indicam que, embora a erosão seja um processo natural, a intensificação das atividades humanas contribui para a aceleração desse fenômeno. O autor ainda reforça a ideia de que a preservação de ecossistemas como os manguezais pode ser uma estratégia importante na proteção das áreas costeiras contra a erosão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A Praia da Ponta d' Areia (Figura 1) localiza-se na região ocidental da Ilha do Maranhão, sendo circundada pela Baía de São Marcos, a qual está inserida dentro do Golfão Maranhense. Essa região apresenta um padrão de macromaré semi-diurna, com alturas que podem atingir até 7,0 metros (DHN, 2004), além disso, ventos persistentes provenientes de nordeste geram ondas de até 1,5 metros de altura, o que garante a praia um caráter ultra-dissipativo quando a maré está baixa e caráter dissipativo sem a formação de bancos na maré alta (ALBUQUERQUE, 2018).

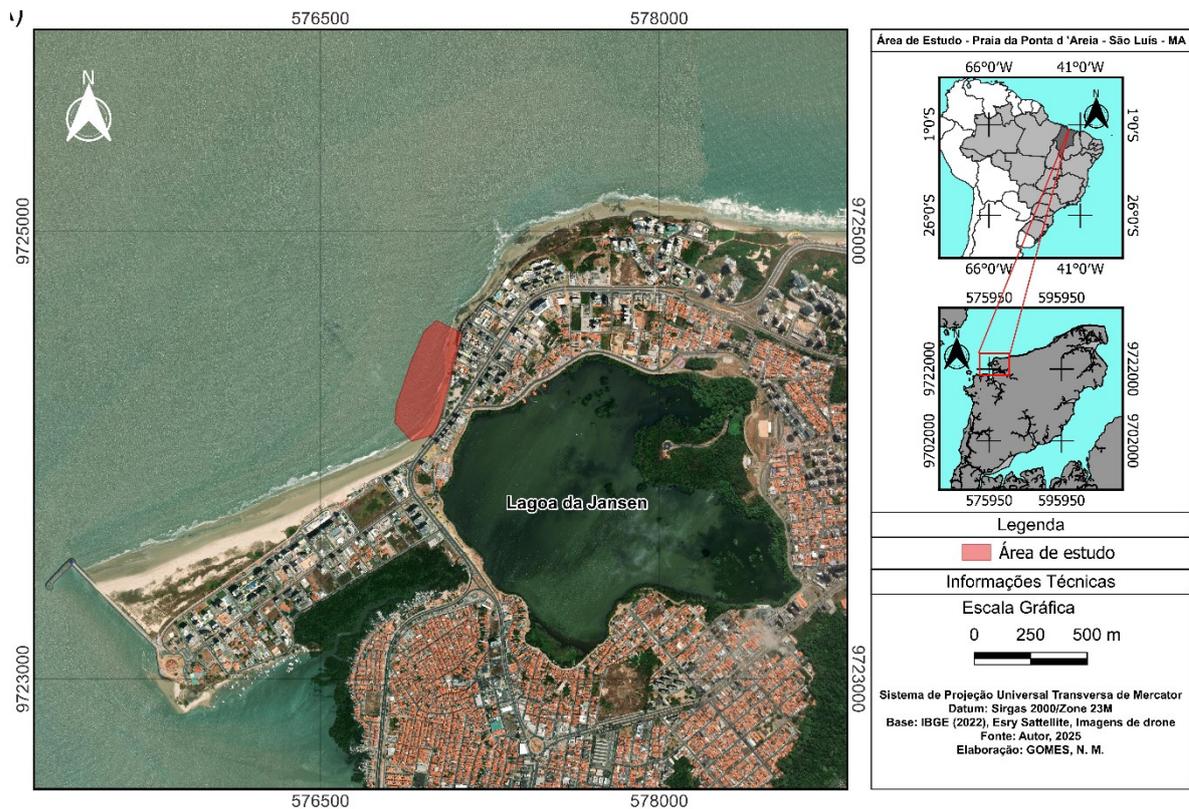


Figura 1 – Área de estudo em vermelho, incluindo apenas uma porção da Praia da Ponta d'Areia. Fonte: Autor.

4.2. Sondagem geológica e amostras superficiais

Para o presente estudo foi feita uma sondagem de subsuperfície a percussão (Figura 2). A sondagem por percussão foi utilizada, pois em terrenos arenosos, a penetração do testemunho é mais difícil, dada a maior compactação dos sedimentos (LIMA *et al.*, 2020). A sondagem foi realizada utilizando um cano de PVC (policloreto de vinila), que foi introduzido através de uma sequência de golpes, com um peso por batida de 20 kg, sobre uma braçadeira móvel fixada ao cano. Em laboratório, o testemunho foi aberto e descrito quanto à sua cor, de acordo com MUNSELL (2009), compactação, textura, estruturas e fácies sedimentares. Para análise granulométricas, foram separadas alíquotas de 2 g, a cada 10 cm, partindo da base do testemunho até o topo.

Além disso, foram feitas 17 coletas de sedimento superficial na área delimitada (Figura 1). Com a finalidade de entender a distribuição sedimentar na praia.

Após isso, foi utilizado o *HORIBA Partica Mini LA-350*, que analisa a distribuição de

tamanho de partícula por difração a laser, a uma resolução de $\frac{1}{s} \phi$, com base nas escalas desenvolvidas por WENTWORTH (1922) e KRUMBREIN (1934), seguindo três etapas básicas: 1) selecionar uma sequência; 2) enchimento de líquido e introdução da amostra; e 3) enxágue e impressão dos dados.

Os dados granulométricos foram tabulados utilizando o programa *Excel 2021*, e depois analisados utilizando o programa *Sysgran 3.0* e classificados por meio do tratamento estatístico de FOLK & WARD (1957).



Figura 2 – Equipamentos utilizados para sondagem a percussão. Fonte: Autor.

4.3. Matéria Orgânica

Para o cálculo de percentual de matéria orgânica, foram separadas alíquotas de 5g a cada 10 cm da sondagem, que foram secas na estufa a $75^{\circ} C$ e depois colocadas no forno mufla a $550^{\circ} C$ para queima do material orgânico durante 4 horas, e por conseguinte foram colocadas em um dessecador até atingirem a temperatura ambiente. A concentração então foi calculada por gravimetria, como proposto por WETZEL (1975) na seguinte fórmula:

$$\%MO = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

Onde:

Peso inicial: peso da amostra seca antes de ser queimada.

Peso final: peso da amostra após a queima

4.4. Permeabilidade e Compactação

Os pontos de amostragem correspondem aos 17 pontos de coleta superficial, como é possível ver na Figura 16.

Para a determinação dos coeficientes de permeabilidade, foram realizados 45 ensaios geotécnicos utilizando um permeâmetro de PVC, de acordo com a metodologia descrita por CAPUTO (1980) em 15 pontos com e sem a evidência de afloramentos lagunares. Foi feita uma média a partir de 3 repetições do procedimento em cada ponto amostral (CAPUTO, 1980). Ademais, o coeficiente foi calculado utilizando a equação desenvolvida com base na fórmula experimental de Darcy (CAPUTO, 1980).

Para a compactação do solo foi utilizado um penetrômetro, da marca Karmaq e modelo Stolf. Logo, a compactação foi determinada com base no número de golpes necessários do peso batente de 4 kg para penetrar 15, 30 e 45 cm da haste de penetração, respectivamente.

Os dados de permeabilidade e a compactação, foram tabulados e depois processados no *Surfer 8.0®*, onde foram interpolados pelo método descrito por *Kriging*, para a elaboração de mapas de contorno.

$$K = \left(\frac{r}{4hm} \right) \left(\frac{dh}{dt} \right)$$

r: raio do tubo;
hm: média da altura da coluna d'água no nível inicial e final;
dh: altura de coluna d'água de aferição;
dt: tempo para percorrer a coluna d'água.

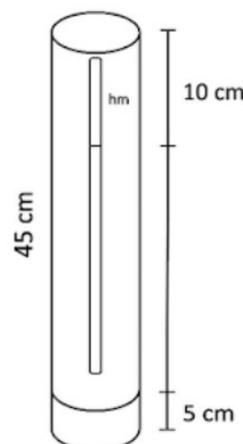


Figura 3 - Permeâmetro de PVC e equação (fórmula experimental de Darcy), descritos por CAPUTO (1980). Imagem retirada do trabalho de RAMOS (2022).

4.5. Modelo Digital Elevação (MDE)

A fim de obter as cotas altimétricas do afloramento foi feito um sobrevoo com drone da marca *DJI* e modelo *Mavic Air 2S*, na altura de 60m, devido à proximidade com prédios residenciais, em conjunto a isso, foi feito a coleta de dados de posicionamento GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) utilizando o *CHC Nav* em pontos de controle distribuído pelo afloramento. Feito isso, os dados foram importados para o *Agisoft Metashape 2.2.0*, com finalidade de obter o MDE (Modelo Digital de Elevação).

5. RESULTADOS

5.1. Observações *in situ*

Durante as coletas de campo do Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica-LEOG foi possível observar na superfície a presença de troncos em posição de vida (Figura 4), pneumatóforos (Figura 5b), incrustações de conchas (Figura 5a), isto sendo tanto diretamente no sedimento lamoso, quanto com uma fina camada de areia por cima. Sendo este um indicativo de afloramento de um antigo manguezal no local onde hoje é a Praia da Ponta d' Areia.



Figura 4 – Árvore em posição de vida. Fonte: Autor.

As conchas encontradas foram das famílias Ostreidae Rafinesque (1815), Nassariidae Iredale, 1916 (1835), Lucinidae J. Fleming (1828) (em posição de vida), Teredinidae Rafinesque (1815), Veneridae, Rafinesque, (1815) e Nuculidae J. E. Gray (1824) sendo todas essas famílias tendo alta correlação com manguezais (Figura 6). Com relação as árvores e os pneumatóforos, não foi possível chegar a um consenso sobre os gêneros, porém, de acordo com MOCHEL (2011), as principais famílias de árvores de mangue que ocorrem no Maranhão são da família Combretaceae, Acanthaceae e Rizhophoraceae.

Além disso, foi possível observar a presença de rochas lateríticas e sedimentos típicos do Membro Alcântara aflorando no limite leste do afloramento de paleomangue (Figura 7).



Figura 5 – Incrustações de conchas no afloramento (a). Fragmentos de pneumatóforos e de caule, trazidos para laboratório (b). Fonte: Autor.



Figura 6 – Concha da família Nassariidae (a). Concha da família Nuculidae (b). Concha da família Teredinidae (c). Concha da família Veneridae (d). Concha da família Ostreidae (e). Conchas da família Lucinidae em posição de vida (f e g). Fonte: Autor.

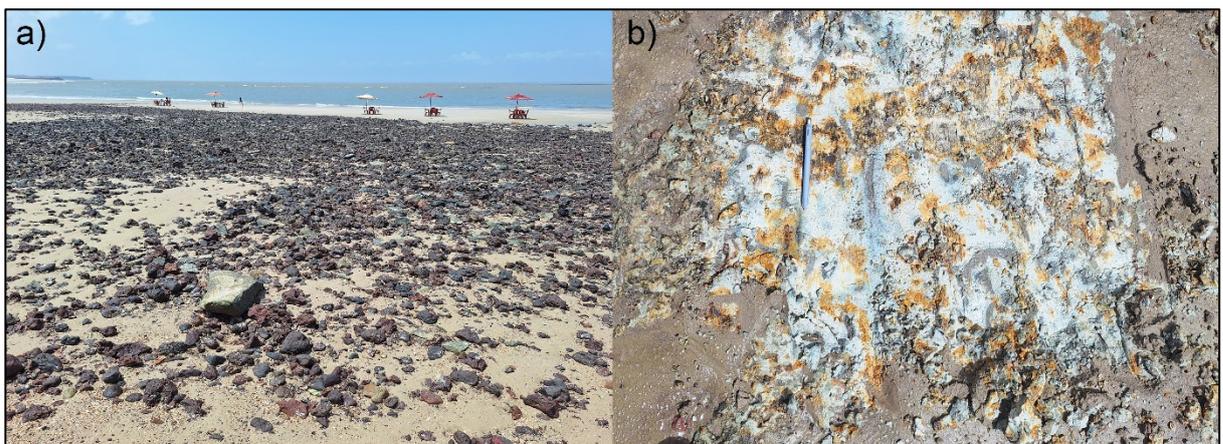


Figura 7 – Conglomerado de rochas lateríticas do Membro Alcântara sob a areia (a). Sedimento típico do Membro Alcântara (b). Fonte: Autor.

5.2. Granulometria superficial

Após feitas as análises, foi possível obter uma tabela de classificação das 17 amostras coletadas superficialmente, contendo média, seleção, assimetria e curtose (Tabela 1). Em sua maioria as amostras são areias, com pontos onde há mudança de predominância ou para silte ou para argila.

AMOSTRAS	CLASSIFICAÇÃO VERBAL			
	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
PALEON-01	Areia fina	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
PALEON-02	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
PALEON-03	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
PALEON-04	Areia fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
PALEON-05	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Mesocúrtica
PALEON-06	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
PALEON-07	Areia fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
PALEON-08	Areia fina	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
PALEON-09	Argila	Muito pobremente selecionado	Muito negativa	Extremamente leptocúrtica
PALEON-10	Areia fina	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
PALEON-11	Areia média	Moderadamente selecionado	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica
PALEON-12	Areia fina	Bem selecionado	Negativa	Mesocúrtica
PALEON-13	Areia fina	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
PALEON-14	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	Leptocúrtica
PALEON-15	Silte fino	Muito pobremente selecionado	Aproximadamente simétrica	Muito platicúrtica
PALEON-16	Argila	Muito pobremente selecionado	Muito negativa	Extremamente leptocúrtica
PALEON-17	Argila	Extremamente mal selecionado	Muito negativa	Platicúrtica

Tabela 1 - Classificação das amostras superficiais, incluindo média, seleção, assimetria e curtose. Fonte: Autor

Na figura 8, a parte central do grid reflete o afloramento do paleomangue, enquanto o extremo leste do grid reflete o limite da praia com o afloramento da Grupo Itapecuru, a oeste se trata da continuidade da praia da Ponta d' Areia. Esse padrão de distribuição segue a mesma tendência para todos os demais parâmetros granulométricos hierarquizando o setor de afloramento das argilas do Membro Alcântara (a leste do grid); o afloramento do paleomangue (centro do grid) e as areias da praia (oeste do grid).

A média granulométrica das amostras se manteve na grande maioria entre os ϕ de 2,19 - 1,73, sendo assim classificadas em areia média e areia fina. Torna-se imperioso destacar os pontos 9, 15, 16 e 17, tendo em vista que esses possuíram as médias mais relevantes, com o ϕ variando 10,72 - 6,97, sendo classificados em argila e silte fino. Na Figura 8 fica claro pois essas medias destacam-se em vermelho mais forte.

a) Média

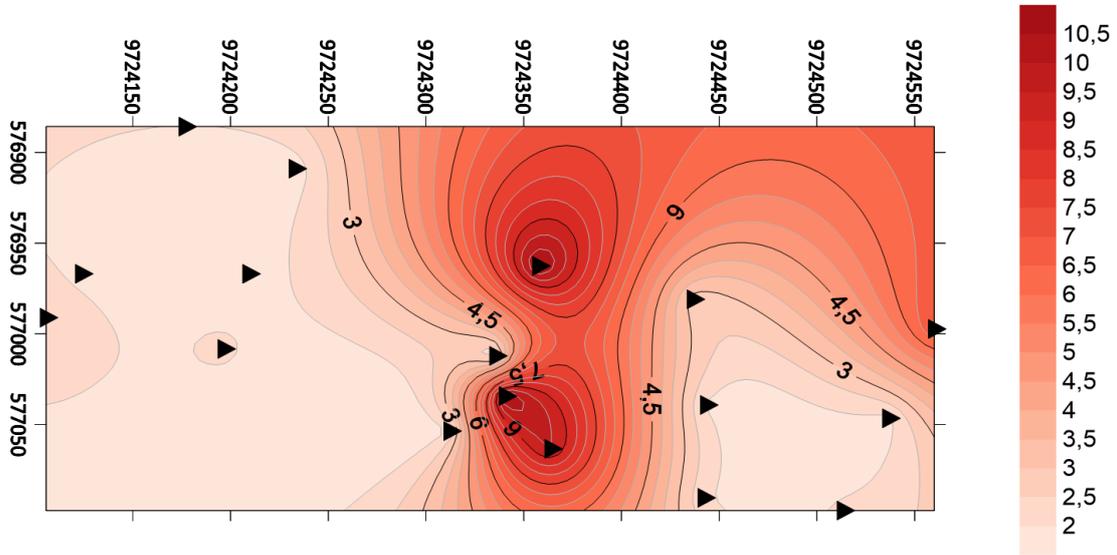


Figura 8 - Mapa de contorno das amostras superficiais, incluindo média. Fonte: Autor

A seleção dos grãos permaneceu em boa parte dos pontos entre 0,31 – 0,91, o que as classifica em sua maioria entre muito bem selecionado e moderadamente selecionado, na Figura 8B, torna-se mais nítido, com quase toda área de estudo estando em verde bem claro. Destaca-se novamente, os pontos 9,15, 16 e 17 que obtiveram as seleções mais altas 2,81 – 4,15, sendo classificadas em muito pobremente selecionadas e extremamente mal selecionado, na Figura 9 evidencia-se pelo verde mais escuro.

b) Seleção

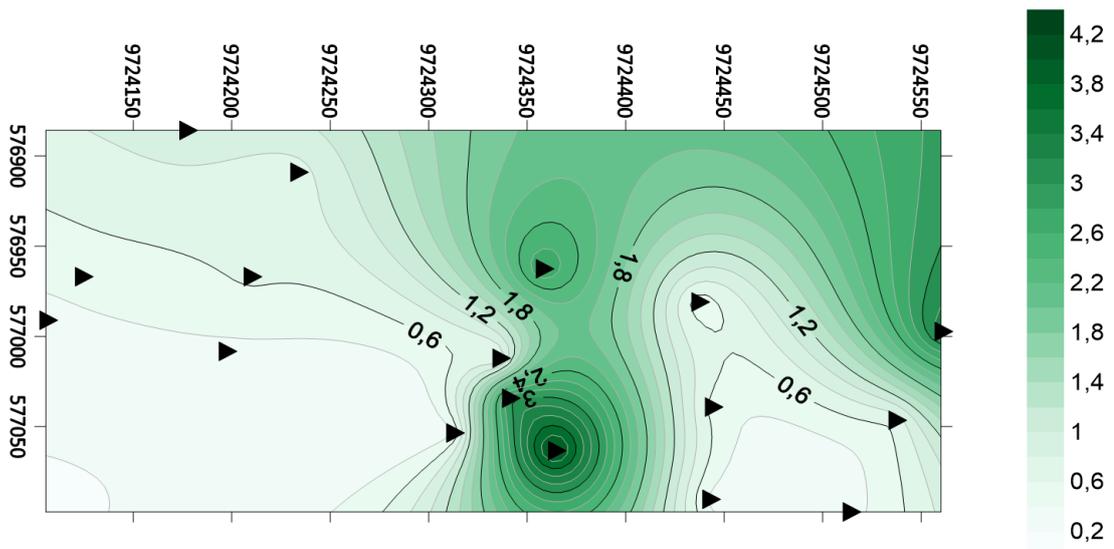


Figura 9 - Mapa de contorno das amostras superficiais, incluindo seleção. Fonte: Autor

A assimetria se mostrou relativamente diversificada, com áreas indo de 0,08 - 0,09, sendo assim classificadas como aproximadamente simétricas, estas podendo ser vistas na Figura 10 em laranja mais claro. Por conseguinte, as assimetrias de $[-0,29] - [-0,11]$, e são classificadas assimetria negativa, pode ser visto nos laranjas médios na Figura 7C. Essas duas faixas integram boa parte da área de estudo, porém, é relevante salientar que os pontos 9, 16 e 17 fogem desse padrão, possuindo assimetria $[-0,94] - [-0,92]$, que é classificada em assimetria muito negativa, e podem ser vistas em laranja mais escuro na Figura 10.

c) Assimetria

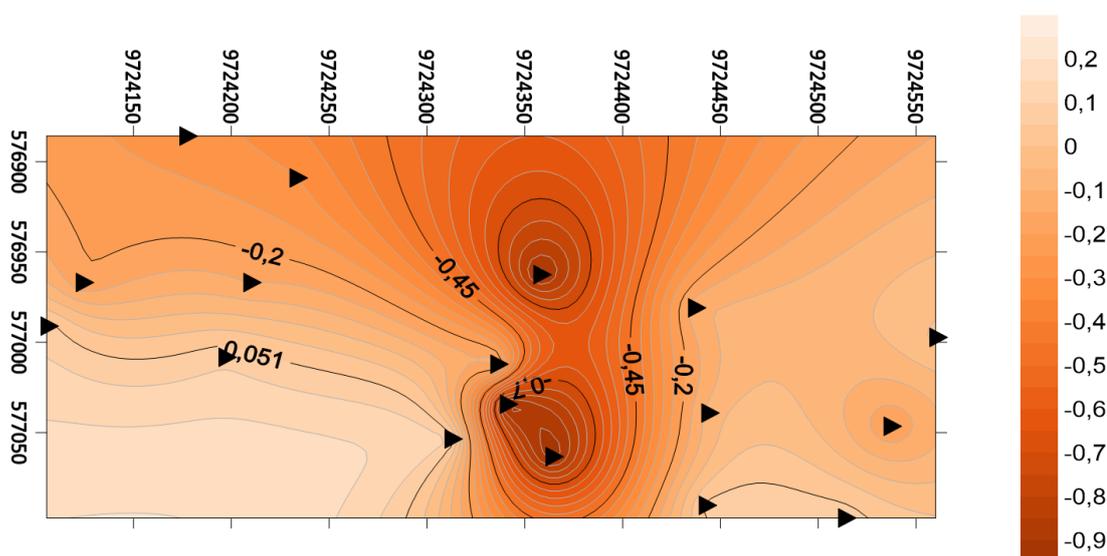


Figura 10 - Mapa de contorno das amostras superficiais, incluindo assimetria. Fonte: Autor

O grau de agudez do pico, ou seja, a curtose, variou em sua maioria preponderante entre 1,36–0,96, assim sendo classificados em leptocúrtica e mesocúrtica, na Figura 11 fica perceptível, devido a coloração em roxo médio. Convém observar, os pontos 16 e 9, que possuem curtose variando de 6,08 - 11,10 na mesma ordem, dito isto, classificadas em extremamente leptocúrtica, podendo serem observados na Figura 8D, em roxo mais escuro. Vale destacar ainda os pontos 15 e 17, com 0,53 – 0,83, sendo classificadas como muito platicúrtica e platicúrtica, respectivamente.

d) Curtose

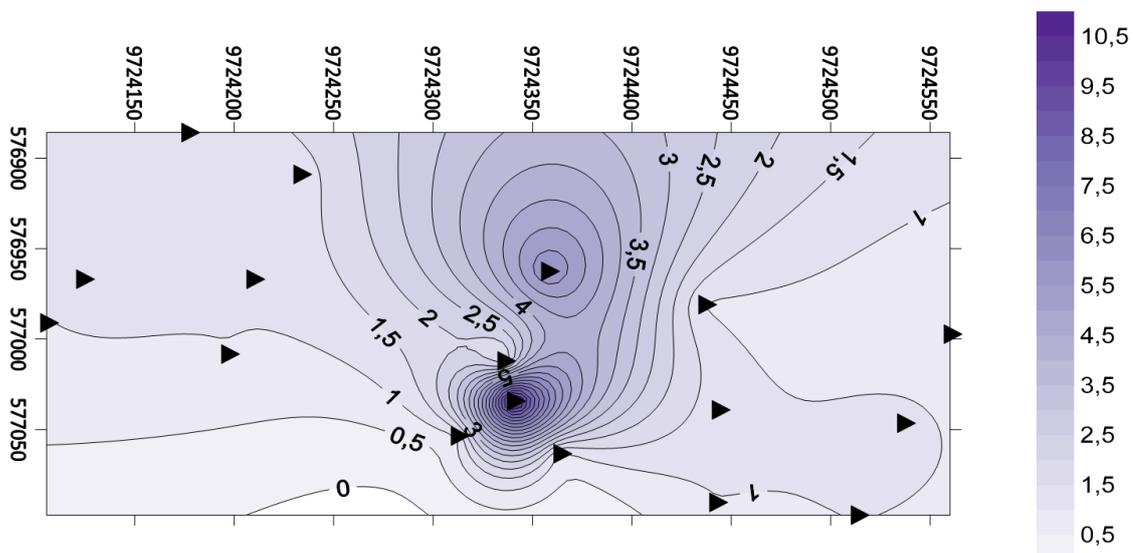


Figura 11 - Mapa de contorno das amostras superficiais, incluindo curtose. Fonte: Autor

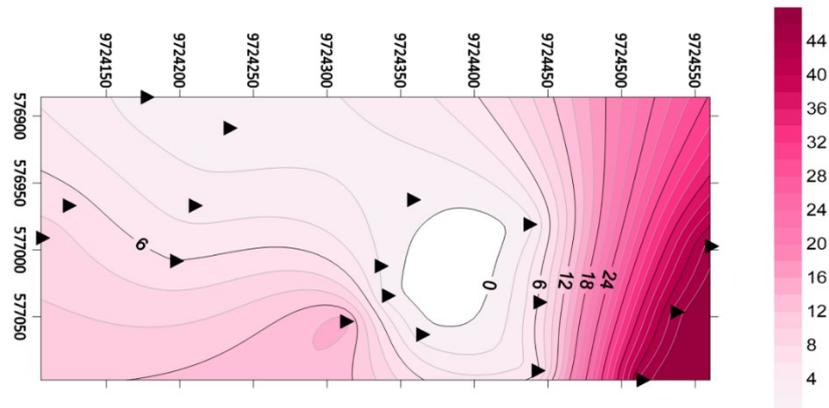
5.3. Compactação

Os dados de compactação evidenciaram pontos onde o afloramento de paleomangue era mais evidente, ou seja, onde há o solo menos compactado, como pode ser observado na Figura 12. Na 12A em 15 cm, é possível observar logo de início, que os pontos, 13, 14 e 15 são altamente compactos, não descendo nem 1 cm mesmo após 45 batidas. Os outros pontos não demonstraram compactação significativa em 15 cm.

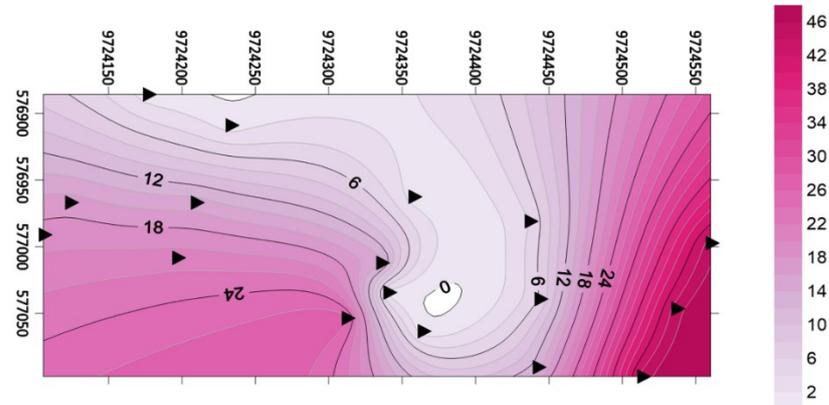
No ponto 12B em 30 cm, a compactação muda um pouco, além dos pontos já citados, a compactação fez-se mais presente nos pontos 1, 2, 4, 7. 12C em 45 cm, por sua vez evidenciou alta compactação em 5, 8 e 10.

Os pontos 3, 6, 9, 12, 16 e 17 obtiveram a menor resistência às batidas, sendo assim necessário apenas 1 batida para atingir 45 cm de profundidade. Indicando a área menos compacta, como é possível observar em rosa bem claro na Figura 12.

a) 15 cm



b) 30 cm



c) 45 cm

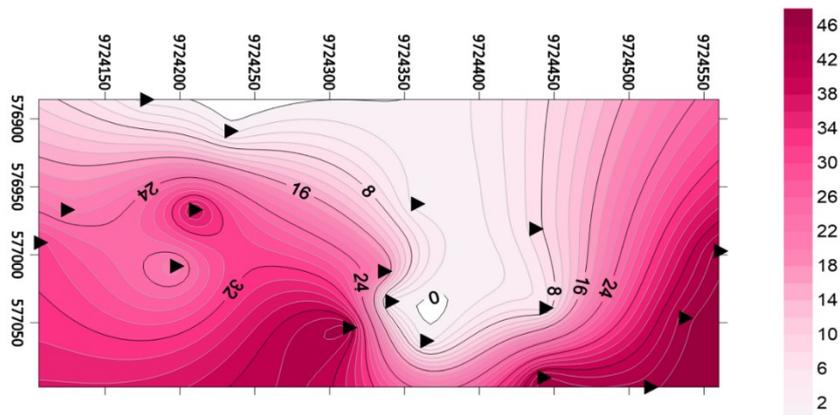


Figura 12 - Mapas de contorno de compactação do solo para 15 cm (a), 30 cm (b) e 45 cm (c). Fonte: Autor

5.4. Permeabilidade

A permeabilidade se refere a capacidade que determinado fluido (água, gás ou óleo) de fluir através dos vazios entrecortados entre as partículas de sedimento (CAPUTO, 1988; SELLEY, 1998). Cabe ressaltar que a permeabilidade é influenciada por diversos fatores, como

cinza médio escuro a cinza claro (N4 a N7), muito pobremente selecionado. Nessa fácies, foi possível observar a presença de muito material orgânico disperso, assim como, de pequenos fragmentos vegetais. Foi possível notar também, pequenas laminações de areia, entre a lama. Não foi possível observar material bioclástico nesta fácies.

Em seguida, em discordância a fácies anterior, a fácies AS (Arenosa Superior), tem uma espessura de 15 cm, com granulometria de areia média e coloração predominante bege (10YR 7/4) e moderadamente selecionado. Na fácies AS é possível notar pequenos fragmentos bioclásticos, porém, não sendo possível identificá-los devido o material está altamente fragmentado.

Níveis (cm)	Média	Classificação	Seleção	Classificação	Assimetria	Curtose	% Areia	% Silte	% Argila
180	2,029	Areia fina	0,3913	Bem selecionado	0,04462	1,019	99,66	0,341	0
170	2,122	Areia fina	1,141	Pobremente selecionado	0,281	1,828	91,01	8,989	0
170	1,762	Areia média	1,206	Pobremente selecionado	0,2738	1,618	91,63	8,373	0
160	2,473	Areia fina	1,549	Pobremente selecionado	0,4822	1,187	81,37	18,63	0
150	2,395	Areia fina	1,517	Pobremente selecionado	0,4627	1,529	84,22	14,72	1,057
140	1,979	Areia média	1,352	Pobremente selecionado	0,4349	1,61	88,57	11,43	0
130	2,454	Areia fina	1,615	Pobremente selecionado	0,4908	1,273	81,86	16,76	1,383
120	3,831	Areia muito fina	2,845	Muito pobremente selecionado	0,4353	1,111	60,43	29,17	10,4
110	4,657	Silte grosso	2,865	Muito pobremente selecionado	0,3871	0,925	47,06	36,91	16,03
100	5,723	Silte médio	3,407	Muito pobremente selecionado	0,453	0,9216	42,49	39,59	17,92
100	6,561	Silte fino	3,158	Muito pobremente selecionado	0,2344	0,5393	29,17	43,57	27,26
90	5,805	Silte médio	3,434	Muito pobremente selecionado	0,4189	0,881	42,46	38,44	19,09
80	4,593	Silte grosso	2,571	Muito pobremente selecionado	0,4321	1,135	46,66	39,62	13,72
70	6,263	Silte fino	3,296	Muito pobremente selecionado	0,288	0,8139	34,07	40,65	25,28
60	6,206	Silte fino	3,343	Muito pobremente selecionado	0,307	0,8105	35,17	39,68	25,15
50	5,978	Silte médio	3,215	Muito pobremente selecionado	0,4689	1,042	37,27	45,93	16,8
40	4,875	Silte grosso	2,61	Muito pobremente selecionado	0,4048	1,088	41,09	43,25	15,66
30	4,815	Silte grosso	2,156	Muito pobremente selecionado	0,5175	1,252	38,66	49,94	11,4
20	1,749	Areia média	0,5916	Moderadamente selecionado	-0,2294	1,09	100	0	0
10	1,922	Areia média	0,5039	Moderadamente selecionado	-0,1824	1,379	100	0	0

Tabela 2 - Classificação das amostras da sondagem, incluindo média, seleção, assimetria e curtose, incluindo percentuais de Areia, Silte e Argila. Fonte: Autor.

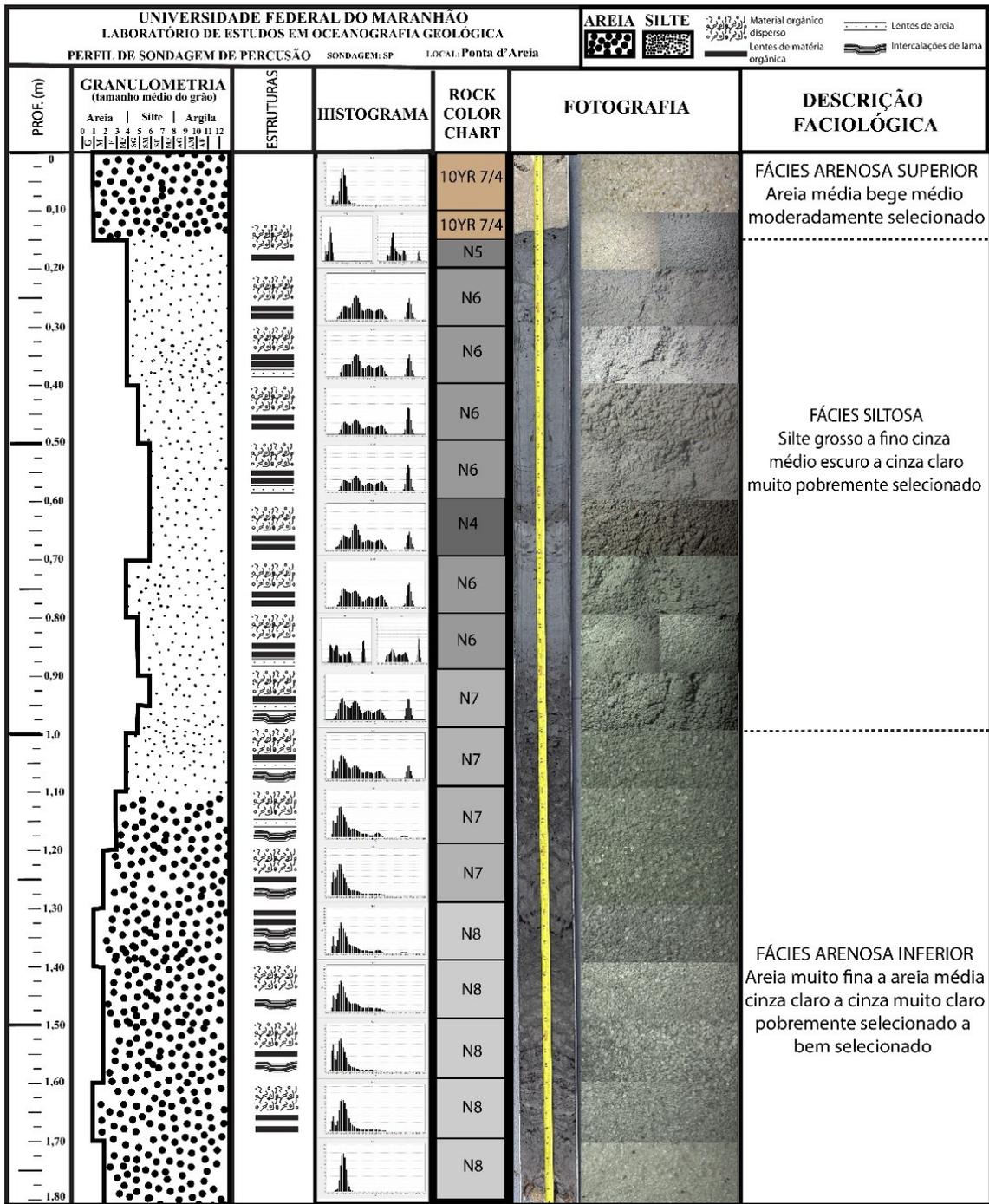


Figura 14 – Coluna estratigráfica da sondagem SP-1. Fonte: Autor.

5.6. Matéria Orgânica

O percentual de matéria orgânica (MO) (Figura 15) variou bastante entre as fácies da sondagem. A fácies AI foi a que mais apresentou variação indo de 0,18% até 6,06%, esse aumento se dá pelo provável aparecimento de vegetação e a proximidade com a fácies posterior lagunar. A fácies SI apresentou certa constância na quantidade matéria orgânica, variando entre 4,58% no nível com a menor quantidade, e 7,71% no nível de maior quantidade. Isso reflete um ambiente mais consolidado e com a presença de vegetação já bem estruturada. Por conseguinte, a fácies AS foi a que conteve os valores mais irrisórios de matéria orgânica, variando de 0,18% a 0,20%, sendo um indicativo de ambiente praiial.

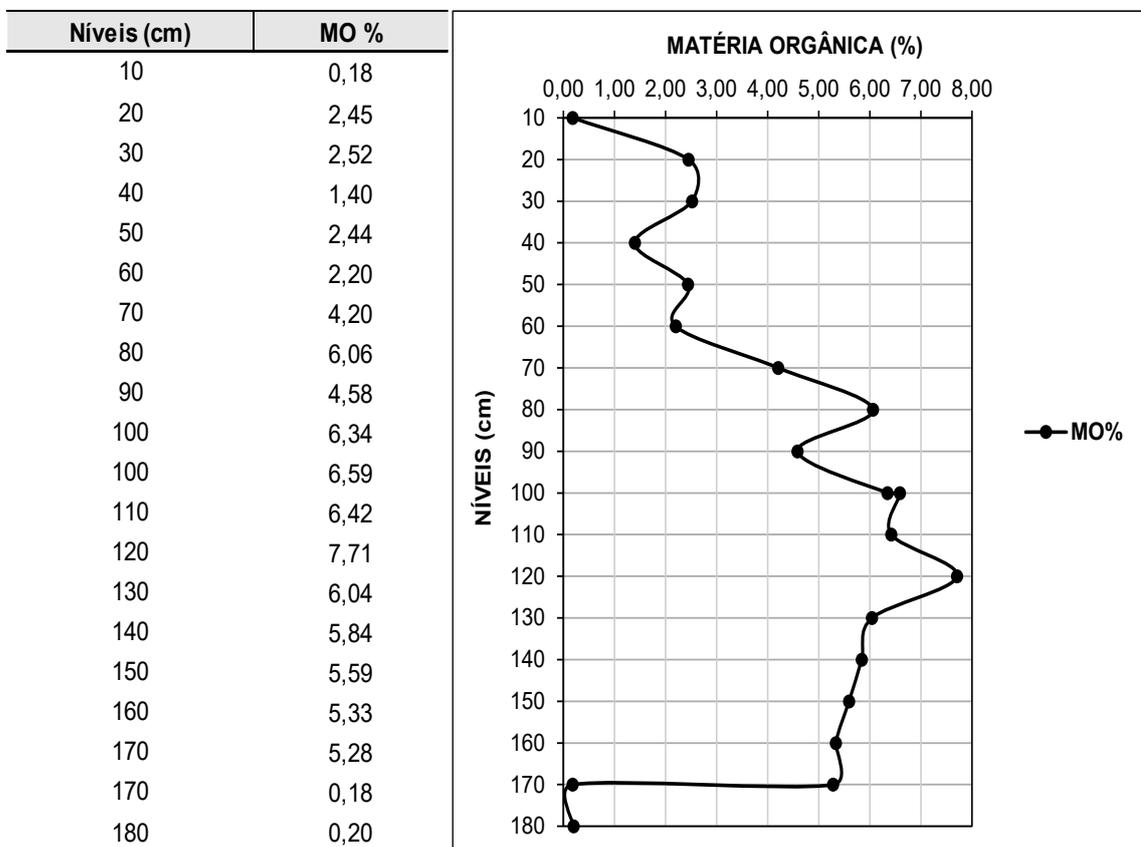


Figura 15 - Percentual de MO%, por nível do SP-1 (a). Gráfico de dispersão do percentual de matéria orgânica em função dos níveis (b). Fonte: Autor.

5.7. Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação contou com uma resolução de 1,79 cm/pixel, e uma densidade de pontos 0,311 pontos/cm², com erro total de 2,9 m (Figura 16). A altura variou de -10 m nas partes mais baixas e +14 m nas partes mais altas. Os pontos se distribuíram entre as isoipsas de 0 em relação ao nível médio do mar, até - 5 m (Figura 17). A sondagem SP-1 foi

executada na cota de -2 m enquanto o afloramento de paleomangue como um todo esteve entre as cotas de 0 e -4 m.

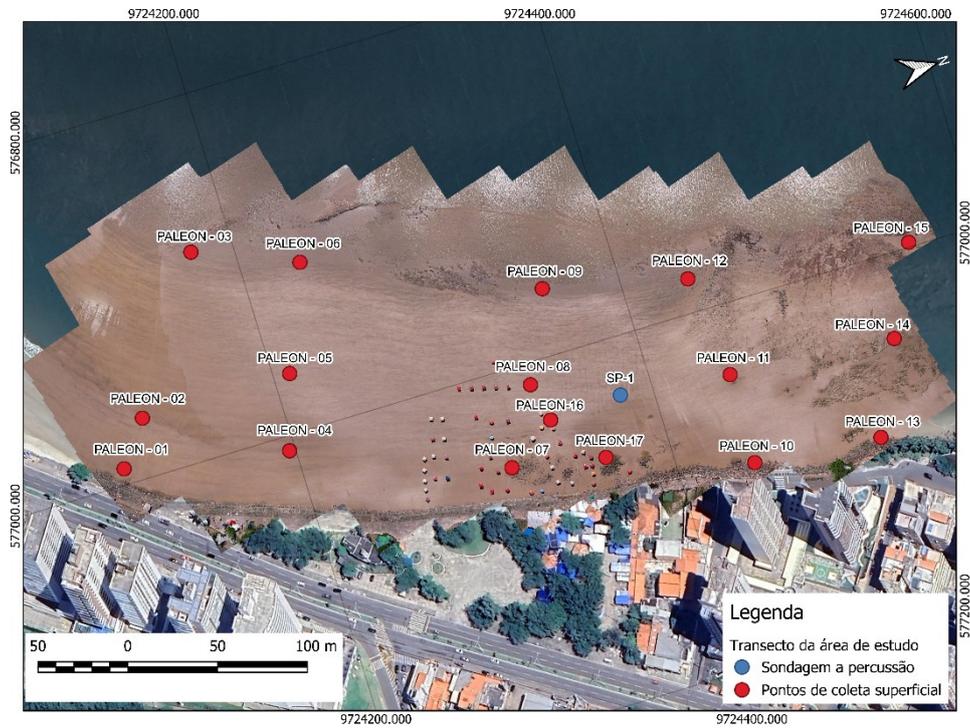


Figura 16 – Ortomosaico da área de estudo, indicando os pontos de coleta superficial e da sondagem. Fonte: Autor

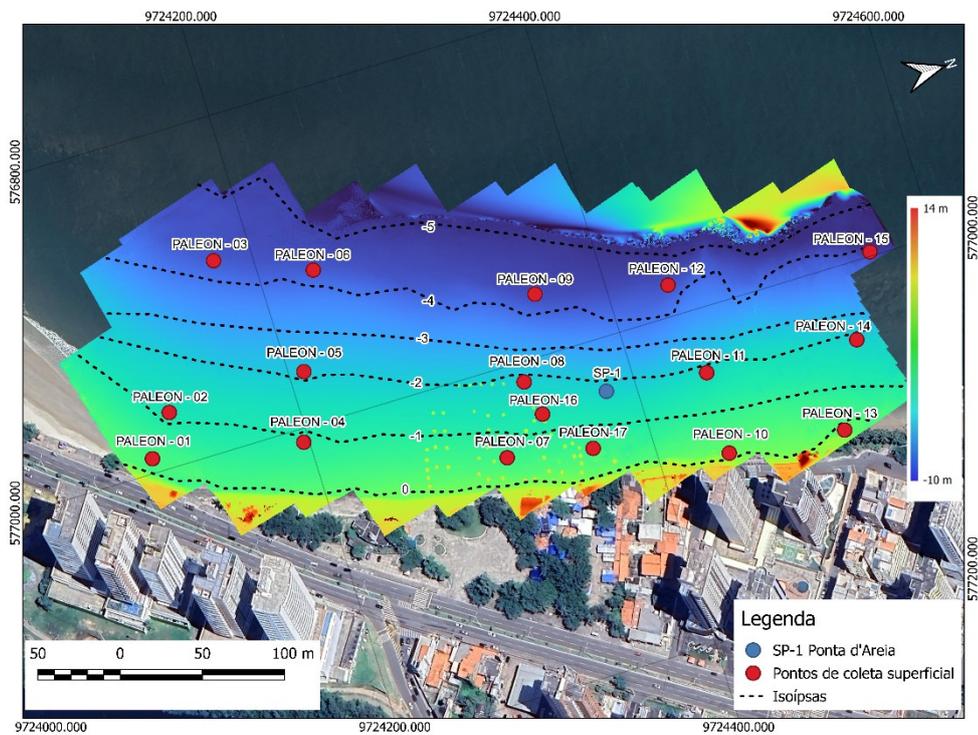


Figura 17 – Modelo Digital de Elevação, indicando os pontos controle, bem como as isoipsas. Fonte: Autor

6. DISCUSSÃO

A partir de saídas de campo ligadas aos projetos de monitoramento praial do Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica-LEOG, foi observado o afloramento de fácies lamosas na face praial. Estas fácies apresentaram a ocorrência *in situ* de caules de mangues em posição de vida (Figura 4), além de pneumatóforos associados às suas raízes. Este afloramento já havia sido evidenciado por Lima *et al.* (2020), em uma sondagem geológica, no entanto as fácies associadas ao mangue encontravam-se em subsuperfície. Neste referido trabalho a datação radiocarbônica da base desta fácies indicou a idade de 7.240 ± 30 anos AP, indicando que a natureza estratigráfica da barreira costeira na Praia da Ponta da Areia, seria definida como uma sequência sedimentar retrogradacional caracterizada pela migração em direção ao continente de um esporão arenoso ligado a um promontório (*headland spit barrier*). De fato, no presente estudo, o que se verificou foi que os limites deste afloramento são superficiais e ocupam toda a face praial. Tal fato, indica que a erosão costeira nesta localidade está se tornando mais severa, devido ao déficit sedimentar ocasionado pela proximidade de um espigão natural na Ponta do Farol (Lima *et al.*, 2020 a/b).

A presença do afloramento em superfície possibilitou a determinação das famílias que compuseram este bosque de manguezal, sendo estes: Ostreidae Rafinesque (1815), Nassariidae Iredale, 1916 (1835), Lucinidae J. Fleming (1828), Teredinidae Rafinesque (1815), Veneridae, Rafinesque, (1815) e Nuculidae J. E. Gray (1824) (Figura 6). Além disso, a superficialidade do afloramento possibilitou seu estudo geotécnico (permeabilidade e compactação) e sedimentar, ampliando a resolução da análise espacial e estratigráfica do afloramento em questão.

A média das análises granulométricas refletem diretamente o nível energético (hidrodinâmico) do ambiente (FOLK & WARD, 1957). Sedimentos classificados como areia fina e média indicam um ambiente alta energia que passa por um processo *winnowing* – peneiramento – (refere-se ao processo de separação e remoção das partículas sedimentares mais finas, por eventos externos, como vento ou ação da maré), parcialmente para areias finas, ou de modo mais intenso para as areias médias (FOLK & WARD, 1957; FRIEDMAN, 1961; DUANE, 1964, ELSERIF, 2020) (Figura 8).

Sedimentos como silte e argila estão associados diretamente com ambientes de baixa energia como manguezais e estuários, com as correntes de maré mais fracas, facilitando a deposição desses grãos mais finos (FOLK & WARD, 1957). Na área de estudo esse tipo de sedimento ocorre devido a presença do afloramento de paleomangue, sendo este um indicativo que em algum momento anterior, essa região tratava-se de um ambiente de baixa energia.

Amostras muito bem selecionadas e bem selecionadas são um indicativo de ambientes de alta energia onde os processos de peneiramento são mais eficazes, resultando em uma distribuição de tamanho de grãos mais uniforme (FOLK & WARD, 1957; DUANE, 1964; ELSERIF, 2020). O que se correlaciona diretamente com os pontos 1, 4, 7, 10, 12 e 13.

Segundo FOLK & WARD (1957), sedimentos com seleção moderada, estão associadas a ambientes onde a deposição ocorre relativamente rápida, principalmente em barras de rios, porém, no caso da Praia da Ponta d' Areia, essa seleção moderada, pode estar associada à além do peneiramento, a presença de sedimentos de diferentes tamanhos, advindos dos próprios afloramentos lamosos, assim como, dos sedimentos do Membro Alcântara, fazendo assim com que haja camadas cruzadas de sedimentos. Nos pontos 2, 3, 5, 6, 8 e 11, (Figura 16, 9), é possível notar isso.

Sedimentos considerados muito pobremente selecionados a extremamente mal selecionados, são um indicativo que o ambiente passa por uma grande variação de energia durante a deposição, fazendo assim com que as partículas de areia, silte e argila depositem juntas (FOLK & WARD, 1957; MARFAI, 2021). Nos pontos, 9, 15, 16, 17, é possível observar esses tipos de seleção.

Valores de assimetria considerados aproximadamente simétricos, refletem que aquele local passa por ação do peneiramento, em apenas parte do seu tempo, isso faz com que a curva de assimetria não domine nem positivamente nem negativamente (FOLK & WARD, 1957; FRIEDMAN, 1961; DUANE, 1964). Isso pode ser observado na Figura 16, onde é possível ver que os pontos 1, 4, 7, 10 e 13, estão na Zona de Supramaré (ZS), o que dificulta a ação da maré e das ondas mais ativamente, fazendo com que esse *winnowing* citado pelos autores, não seja tão significativo. O ponto 15 torna-se diferente, pois apesar de estar na Zona de Intermaré Inferior (ZII), a presença de rochas lateríticas, dificultam a ação tanto da maré, como das ondas, o que ocasiona amostras aproximadamente simétricas.

Os outros pontos, todos apresentaram ou assimetria negativa ou muito negativa, o que é um indicativo que passam por um peneiramento, mais ativo. Segundo Friedman (1961), esse fenômeno geralmente é normal em praias. Vale destacar que os pontos 9, 16 e 17, possuem assimetria muito negativa por serem argilosos, o que garante que os grãos sejam removidos com maior facilidade (partículas mais finas), pela ação das ondas, e da maré (Figura 16).

A curtose, se mostrou leptocúrtica, sendo um indicativo que as partículas estão mais concentradas ao redor da moda, que em uma distribuição normal, caldas são mais pesadas e o

pico mais altos, o que nos diz que é um ambiente relativamente estável (FOLK & WARD, 1957). As mesocúrticas indicam normalidade na distribuição normal, apresenta distribuição simétrica em torno da média (FOLK & WARD, 1957). As platicúrticas indicam caudas mais leves e picos mais baixos e maior dispersão em relação as médias, sendo associados a ambientes sujeitos a alta variação das partículas sedimentares (FOLK & WARD, 1957) (Figura 11).

De modo geral, a granulometria superficial da praia da Ponta da Areia, dentro dos limites do grid amostral, reflete areias finas e médias com melhor seleção, indicando os sedimentos móveis desta praia, que por sua vez, transitam sobre a superfície de um antigo manguezal. Este manguezal representa a topografia antecedente em seus mínimos detalhes, resguardando pneumatóforos (Figura 5B), bancos de ostras (Figura 5A) em meio a raízes ou mesmo troncos em posição de vida (Figura 4) que possibilitam afirmar ser a superfície deste ambiente deposicional posicionado entre as cotas de -1 m a -4 m (Figura 17). Este paleomangue tinha seu limite na localidade da ponta do Farol, onde afloram sedimentos da Grupo Itapecuru (Figura 7B).

A compactação se mostrou um parâmetro interessante para a identificação dos limites tanto dos afloramentos dos paleomangue, como dos sedimentos do Membro Alcântara. Quanto mais compacto, maior a espessura do pacote sedimentar arenoso ou com rochas lateríticas em subsuperfície, e quanto menos compacto maior a possibilidade de tratar-se do afloramento de paleomangue ou onde estava coberto por uma fina camada de areia, como é o caso dos pontos 3, 6 e 12. Esses limites são claramente delineados no grid da Figura 12, e assim dão uma melhor dimensão dos limites do afloramento do paleomangue.

No grid amostral a permeabilidade teve grandes variações, nos pontos que exibiram média em areia fina e média 1, 2, 4, 5, 8, 10, 11, 13 e 14, indicaram alta permeabilidade, isso devido a porosidade mais elevada quando comparada a sedimentos finos. Pelo contrário, os pontos 3, 6, 7, 9, 12, 15, 16 e 17, foram impermeáveis, com zero de percolação devido a presença de sedimentos lamosos (silte + argila), com baixa porosidade. Como o permeâmetro tem sua base inserida 5 cm no sedimento, esta profundidade representa o limite impermeável, mesmo com a superfície da praia sendo composta por areia. Isto ocorreu nos pontos 3, 6 e 12, que apesar de serem areias, logo abaixo estavam as lamas do afloramento, logo, o coeficiente de permeabilidade foi 0, (Figura 13). No ponto 7 a permeabilidade também foi 0, devido a outro afloramento de rochas lateríticas (Figura 7A) do Membro Alcântara. De modo geral, a permeabilidade serviu para mostrar, que se trata de um setor altamente erosivo da Praia. Segundo Lima *et al.* (2022) em monitoramento da morfodinâmica da Praia da Ponta d' Areia,

revelou que é muito comum, súbitas alternâncias entre a acreção e a erosão. Lima *et al.* (2022), ainda explica que isso ocorre devido seu estoque sedimentar ser flutuante ao longo de toda a extensão da praia, isso porque eles ficam retidos de forma parcial em feições geomorfológicas do Membro Alcântara, que vem de processos erosivos antigos e atuais que modificam a topografia antecedente.

O limite leste do afloramento é representado pela Grupo Itapecuru, onde sedimentos do paleomangue encontram-se justapostos. Isto aliado ao desaparecimento do afloramento em direção oeste, pode indicar que este ambiente deposicional bordejava as falésias da ponta do Farol, num momento anterior ao desenvolvimento do esporão arenoso da Ponta d' Areia (LIMA *et al.* 2020).

As amostras com média em argila grossa coletadas na superfície do afloramento indicam locais com baixa hidrodinâmica, pois foram coletados entre as raízes do manguezal. Isso não foi observado na sondagem geológica, onde provavelmente este nível argiloso havia sido erodido, restando ao topo da sondagem a média em silte grosso.

Com relação a sondagem executada a fácies AI, indica que possivelmente se tratava de um *subtidal channel sands*, onde ocorria a acumulação de sedimentos arenosos (acima de 5 cm), estes trazidos pelo processo diário maré de semi-diurna, com a presença de laminações de sedimento lamoso (silte + argila) e a presença de material orgânico (Fig. 14 e 15) (WALSH, 2004). Em sondagens executadas por Lima *et al.* (2022) é possível inferir que havia uma continuidade entre os afloramentos lagunares encontrados na sondagem da praia e na atual Lagoa da Jansen, indicando que o complexo lagunar ainda havia ampla conexão com o oceano, o que permitia durante as baixa-mar de sizígia os sedimentos ficassem expostos. Vale destacar que nessa fácies, os teores de matéria orgânica vão reduzindo até chegarem a valores ínfimos, indicando que alta hidrodinâmica não permitiu a deposição desse material com tanta eficiência.

A fácies SI, pode ser o que Walsh (2004) chama *low-tidal sand and mud*, que é uma zona que se encontra abaixo do limite da maré baixa, onde o sedimento é influenciado pela dinâmica da maré, e tem força o suficiente para carregar as partículas de areia, silte e argila. Isso pode explicar, o porquê de toda essa fácies apresentar altas proporções entre as areias, silte e argila (Tabela 2). As variações nas médias do silte, entre grosso, médio e fino nos faz entender como a dinâmica sedimentar é complexa e que para a formação de um ambiente propicio para formação de um manguezal todas as variáveis precisam ser avaliadas (WALSH, 2004). Tudo isso ainda se relaciona diretamente com o teor de matéria orgânica que podem ser encontrados em maiores percentuais na fácies SI, isso porque apesar de possuir uma hidrodinâmica alta o

material orgânico conseguia sedimentar e junto a esse misto de grãos de diferentes tamanhos.

A fácies AS, indica a praia atual, com características típicas entre todos os parâmetros granulométricos, média em areia média, assimetria negativa etc. Além de percentuais baixíssimos de matéria orgânica.

Como a sondagem SP-1 foi executada na cota de -2 m, coincidindo a superfície da praia e com a superfície do afloramento, e nesta superfície são identificados pneumatóforos (Figura 5A) é muito provável que o topo da fácies SI corresponda a um paleonível marinho inferior ao NRM atual. De fato, os mangues atuais têm sua distribuição entre as cotas de 0 até o limite da maré alta.

7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível afirmar que a Praia da Ponta d' Areia encontra-se submetida a um processo erosivo de longo termo, sendo evidenciado tanto pelas amostragens superficiais quanto pela sondagem.

O afloramento de paleomangue pode possivelmente ser considerado uma paleonível, tendo em vista a sua cota topográfica (-2m) e a elevada preservação da superfície original deste ambiente deposicional, caracterizada por pneumatóforos, troncos em posição de vida e conchas de moluscos em posição de vida. Sendo necessário estudos mais aprofundados para a confirmação.

A compactação e permeabilidade foram essenciais e conclusivas sobre os limites espaciais e subsuperficiais dos sedimentos da praia, do paleomangue e os sedimentos da Grupo Itapecuru, Membro Alcântara.

A sondagem geológica elucidou as relações estratigráficas com a geomorfologia atual, possibilitou também descrever a estrutura desse antigo paleomangue, sua hidrodinâmica, sua sedimentação.

As amostras superficiais e MDE foram fundamentais para explorar a forma como a morfodinâmica atual expõe e oculta os afloramentos.

As famílias identificadas foram de igual importância para entender melhor esse paleoambiente, tendo em vista que preservam em sua maioria características passíveis de identificação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, S. S. Estratigrafia e evolução do Esporão Arenoso da Ponta d'Areia, São Luís - MA. 2018. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 116 p.

ALESSIO, P.; KELLER, E. A. Short-term patterns and processes of coastal cliff erosion in Santa Barbara, California. *Geomorphology*, v. 353, p. 106, 2020.

ARAÚJO, I.; GOMES, Érico; GONÇALVES, R.; QUEIROZ, H. Estimativa do índice de vulnerabilidade à erosão costeira (IVC) para o litoral do Piauí, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 20, n. 1, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1260.

BIGARELLA, J.J.; ANDRADE, G.O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). *Arquivo Instituto de Ciências da Terra, Recife*, n. 2, p. 2-14, 1964.

BIONDO, M., BUOSI, C., TROGU, D., MANSFIELD, H., VACCHI, M., IBBA, A., PORTA, M., RUJU, A., & DE MURO, S. Natural vs. Anthropic Influence on the Multidecadal Shoreline Changes of Mediterranean Urban Beaches: Lessons from the Gulf of Cagliari (Sardinia). *Water*, 12(12), 3578. <https://doi.org/10.3390/w12123578>. 2020.

BOZZEDA, F., ORTEGA, L., COSTA, L. L., FANINI, L., BARBOZA, C. A. M., MCLACHLAN, A., & DEFEO, O. Global patterns in sandy beach erosion: unraveling the roles of anthropogenic, climatic and morphodynamic factors. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1270490>. 2023.

BRANNER, J.C. Geology along the Pernambuco coast south of Recife. *Geological Society of America*, v. 13, p. 58-92, 1902.

CAI, F., CAO, C., QI, H., SU, X., LEI, G., LIU, J., ZHAO, S., LIU, G., & ZHU, K. Rapid migration of mainland China's coastal erosion vulnerability due to anthropogenic changes. *Journal of Environmental Management*, 319, 115632. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115632>. 2022.

CAMPBELL, D.F. Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin.

Belém: Petrobras, Rept. v. 7, 1949.

CAPUTO, H. P. Mecânica de solos e suas aplicações. Rio de Janeiro. Editora Livro Técnicos e Científicos, 1980.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos Solos e suas aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editoria S.A., 1988.

DIRETORIA de HIDROGRAFIA e NAVEGAÇÃO. Tábua das Marés para São Luís (Estado do Maranhão). 2004. Disponível em: <http://www.dhn.mar.mil.br>. Acesso em: [20 de agosto de 2023].

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 34, n. 4, p. 864-874, 1964.

ELSERIF, E. A.; BADAWI, A.; ABDELKADER, T. Grain size distribution and environmental implications of Rosetta beach, Mediterranean Sea coast, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, v. 24, n. 1, p. 349-370, 2020.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River bar [Texas]: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FRIEDMAN, G. M. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Research*, v. 31, n. 4, p. 514-529, 1961.

GARZO, P. A.; SÁNCHEZ-CARO, L.; MOJICA, M. Coastal erosion in temperate barriers: an anthropized sandy beach in Buenos Aires, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 128, p. 104453, 2023.

GÜL, M., KÜÇÜKUYSAL, C., ÇETIN, E. Coastal Erosion Threat on the Kızkumu Spit Geotourism Site (SW Turkey): Natural and Anthropogenic Factors. *Geoheritage* 12, 54 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00477-0>.

KOERNER, K. F.; OLIVEIRA, U. R.; GONÇALVES, G. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 13, n. 4, p. 457-471, 2013

KRUMBEIN, W. C. Size frequency distributions of sediments. *Journal of sedimentary Research*, v. 4, n. 2, p. 65-77, 1934.

LIMA, L. G. de, ALBUQUERQUE, S. S. de, CERVEIRA, G. S., PARISE, C. K., FERREIRA, M. S., & FRANCO, B. J. Estratigrafia e evoluçao de um esporao arenoso em ambiente macromaré: Ponta da Areia - São Luís - Maranhão - Brasil. *Geosciences = Geociências*, 39(04), 997–1008. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i04.13993>. 2020.

LIMA, L. G. de; FERREIRA, M. S.; FRANCO, B. J.; PARISE, C. K.; SANTOS, J. H. S. dos. Morfodinâmica da Praia da Ponta da Areia: Considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. *Geociências*, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 503-515, 2022.

LIMA, R. S. Vulnerabilidade da linha de costa a eventos de alta energia na Praia da Caponga - Cascavel, Ceará. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MARTÍNEZ, C., GREZ, P. W., MARTÍN, R. A., ACUÑA, C. E., TORRES, I., & CONTRERAS-LÓPEZ, M. Coastal erosion in sandy beaches along a tectonically active coast: The Chile study case. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(2), 250-271. <https://doi.org/10.1177/03091333211057194>. 2022.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C. R. de G. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 2, p. 278-294, 2008.

MEIRELES, A. J.; I RAVENTOS, Jordi Serra. Um modelo geomorfológico integrado para a planície costeira de Jericoacoara/Ceará. *Mercator*, v. 1, n. 1, páginas, 2002.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA; GORAYEBE, A.; THIERS. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. *Mercator*, v. 8, p. 109-134, 2005.

MOCHEL, F. R. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: *Amazônia maranhense: diversidade e conservação*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011.

MUEHE, D. Erosão costeira - Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 11, n. 3, p. 315-325, 2011.

MUNSELL, Chart. Geological rock-color chart. Geological Society of America (GSA). Munsell Color, 2009.

NOVAES, G.; LOBO, F. C.; RANIERI, L. A. Geoindicadores de vulnerabilidade à erosão e risco costeiro em praias estuarinas da costa amazônica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 25, n. 2, 2024.

RAMOS, R. J. P. Permeabilidade das praias oceânicas da Ilha do Maranhão frente a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos. Monografia. Universidade Federal do Maranhão. 2022.

RANIERI, L. A. Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará). 2014. 195 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/6344>.

ROY, P. S.; COWELL, P. J.; FERLAND, M. A.; THOM, B. G. Wave dominated coasts. In: CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. (Eds.). *Coastal evolution, late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 121-186, 1994.

SANTOS, M. S. T., & AMARO, V. E. (2013). Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistema de praias arenosas e ilhas barreira no nordeste do Brasil. *Revista brasileira de geomorfologia*, 14(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i2.298>

SELLEY, R. C. *Elements of petroleum geology*. Editora Gulf Professional. 1998.

SILVA, R. L. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Lisboa, v. 8, n. 2, p. 66-76. 2008.

SOUZA, C. R. DE G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(1), 17–37. <https://doi.org/10.5894/rgci147>. 2009.

SUGUIO, K. Tópicos de Geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões

litorâneas. *Geologia USP. Série Didática*, v. 2, n. 1, p. 1-40, 200p. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9109.v2i0p1-40>. Acesso em: 20 fev. 2025.

PAULA, J. E. de A. Dinâmica morfológica da planície costeira do Estado do Piauí: evolução, comportamento dos processos costeiros e a variação da linha de costa. 2013. 247 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

PEREIRA, E. D.; ZAINÉ, J. E. Mapa geológico-geotécnico da bacia do rio Bacanga – São Luís (MA). *Geociências*, v. 26, n. 1, p. 45-54, 2007.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J.O.; CAVALCANTE, A. A.; PAULA, Davis Pereira de; SILVA, R. L. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Lisboa, v. 8, n. 2, p. 66-76. 2008.

PRASAD, D. H.; KUMAR, N. D. Coastal erosion studies—a review. *International Journal of Geosciences*, v. 2014, 2014.

WALSH, J. P.; NITTROUER, C. A. Mangrove-bank sedimentation in a mesotidal environment with large sediment supply, Gulf of Papua. *Marine Geology*, v. 208, n. 2-4, p. 225-248, 2004.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

WETZEL R G. *Limnology*. Philadelphia: Saunders, (1975). 860 p. [Freshwater Ecology Program, Dept. Biological Sciences. Univ. Alabama, Tuscaloosa, AL].