



Universidade Federal do Maranhão

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Departamento de Oceanografia e Limnologia

Curso de Graduação em Oceanografia

**ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ESPORÃO ARENOSO DA PRAIA DE  
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR– MARANHÃO.**

Discente: Jordan Syllas Saraiva Leite  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima

São Luís - MA

2022

**JORDAN SYLLAS SARAIVA LEITE**

**ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ESPORÃO ARENOSO DA PRAIA DE  
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR– MARANHÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Graduação em Oceanografia Bacharelado da Universidade Federal do Maranhão-UFMA, como requisito para obtenção da aprovação da disciplina de Defesa de Monografia.

**Orientador: Prof. Dr. Leonardo  
Gonçalves de Lima**

São Luís – MA

2022

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

Syllas Saraiva Leite, Jordan.  
ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ESPORÃO ARENOSO DA PRAIA DE  
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR MARANHÃO / Jordan Syllas  
Saraiva Leite. - 2022.  
58 p.

Orientador(a): Leonardo Gonçalves de Lima.  
Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. Barreiras costeiras. 2. Datação. 3. Membro  
Alcântara. 4. Sondagem. 5. Ultradissipativa. I.  
Gonçalves de Lima, Leonardo. II. Título.

**JORDAN SYLLAS SARAIVA LEITE**

**ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ESPORÃO ARENOSO DA PRAIA DE  
PANAQUATIRA, SÃO JOSÉ DE RIBAMAR– MARANHÃO.**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à coordenação do curso de  
Graduação em Oceanografia Bacharelado  
da Universidade Federal do Maranhão-  
UFMA, como requisito para obtenção da  
aprovação da disciplina de Defesa de  
Monografia.

**Orientador: Prof. Dr. Leonardo  
Gonçalves de Lima**

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima  
Universidade Federal do Maranhão (Orientador)

---

Prof.Dr. Leonardo Soares  
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

---

Prof. Dr. Denilson  
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

**SÃO LUÍS, 2022**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, em especial minha mãe Elizete e meu pai Júnior, meus tios Carlinhos e Paula, meu padrinho e brother Marcus Franco e à minha segunda mãe, Francisca Franco, que sempre cuidaram de mim e me apoiaram da infância à vida adulta, que não mediram esforços para que eu tivesse uma educação de qualidade e que ajudaram a construir a pessoa que sou hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer em primeiro lugar aos meus pais Elizete e Júnior, que sempre me incentivaram a seguir os meus sonhos, que sempre fizeram de tudo para me dar uma educação de qualidade, me ensinaram os valores da vida e como ser uma boa pessoa.

Ao meu padrinho Marcus Franco que sempre me disse para correr atrás dos meus sonhos e dos meus objetivos, que me ajudou a alcança-los ainda na graduação, exercendo uma enorme importância para a minha formação profissional e pessoal.

Aos meus colegas do LEOG: Brunno, Larissa, Thaís, Janiussom, Thalita e Luciana, que compartilharam conhecimento, experiências e ajudaram de alguma forma na realização deste trabalho, tornando-o menos difícil e prazeroso, ao qual, sem eles seria uma tarefa muito árdua.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Leonardo Gonçalves de Lima, que me apresentou o maravilhoso mundo da estratigrafia e das barreiras costeiras e pelos conhecimentos repassados em sala de aula, em campo e em laboratório que tiveram enorme valor na construção deste trabalho e em minha formação profissional.

Por fim, agradeço a minha namorada Gaby, todos meus amigos e professores que contribuíram de alguma forma para a construção deste trabalho, representando um sólido alicerce para a conclusão desta etapa da minha vida, sem vocês eu jamais chegaria até aqui.

## RESUMO

A Praia de Panaquatira está localizada na região leste da ilha do Maranhão, no município de São José de Ribamar. É uma praia arenosa, ultradissipativa, com um regime de macro-maré e semiabrigada. A origem desta praia está vinculada ao desenvolvimento de um esporão arenoso ancorado às falésias do Membro Alcântara da Formação Itapecuru, e junto à desembocadura do rio Santo Antônio. A evolução deste esporão ocorre no sentido NO, ocasionando a sobreposição de fácies lagunares/estuarinas por fácies eólicas/praias num contexto clássico de formação de esporão arenoso (*spit*). Desta forma, o objetivo do presente estudo foi caracterizar os processos de origem e evolução do esporão arenoso da Praia de Panaquatira. Para tal foi realizada uma sondagem geológica *Standard Penetration Test (SPT)* e uma Sondagem a percussão (SP) sucedidas por análises faciológicas, granulométricas e geocronológicas (radiocarbono). As sondagens recuperaram registros sedimentares correspondentes a fácies arenosas pouco compactas de origem holocênica no topo do registro, indicando ambientes praias/eólicos, fácies lagunares/estuarinas nas porções médias do registro indicando ambientes de retrobarreira e por fim fácies siltosas de origem no Membro Alcântara, indicando paleoambientes continentais e costeiros de águas calmas e rasas. A partir da datação de  $^{14}\text{C}$  de fragmentos de uma Bolacha-da-Praia (*Mellita sp.*) encontrada na profundidade de 7 m da sondagem SPT-3, foi possível compreender que a origem deste esporão arenoso se deu por volta de  $3360 \pm 30$  AP (antes do presente), quando ambientes tipicamente praias começam a sobrepor o substrato pré-transgressão (Membro Alcântara).

Palavras-chave: Barreiras costeiras; Ultradissipativa; Membro Alcântara; Datação; Sondagem.

## ABSTRACT

Panaquatira Beach is located in the eastern region of the island of Maranhão, in the city of São José de Ribamar. It is a sandy beach, ultra dissipative, with a macrotidal regime and semi-sheltered. The origin of this beach is linked to the development of a sandspit anchored to the cliffs of the Alcântara Member of the Itapecuru Formation, and next to the river-mouth of the Santo Antônio River. The evolution of this sandspit occurs in the NW towards, causing the overlap of estuarine facies by eolian/beachal facies in a classical context of sand-spit formation. Thus, the objective of this study was to characterize the origin and evolution processes of the sand-spit of Panaquatira Beach. For this purpose, two geological drills were carried out (standard Penetration Test (SPT) and Percussion Survey (SP)) were carried out, followed by faciological, granulometric and geochronological (radiocarbon) analyses. The geological drills recovered sedimentary records corresponding to less compact sandy facies of Holocene origin at the top of the record, indicating beach/eolian environments, estuarine facies in the middle portions of the record indicating back-barrier environments and finally silty facies originating in the Alcântara Member, indicating continental and coastal paleoenvironments of calm and shallow waters. From the  $^{14}\text{C}$  dating of fragments of a *Mellita* sp. found at a depth of 7 m from the SPT-3 drill, it was possible to understand that the origin of this sandspit was around  $3360 \pm 30$  BP (Before Present), when typically beach environments begin to overlap the pre-transgression substrate (Alcântara Member).

**Keywords:** Sandspit; ultra dissipative; Alcântara Member; Geological drills;  $^{14}\text{C}$  dating

## LISTA DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>Figura 2: Falésias da Formação Itapecuru presentes no Setor 1 da praia de Panaquatira com a presença de rochas lateríticas na base da falésia.....</b> | <b>17</b> |
| <b>Figura 3: Realização da Sondagem SPT-3.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>Figura 4: Realização da sondagem SP-1.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Figura 5: Procedimento de coleta de amostras em testemunho.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>Figura 6: Etapas do procedimento de granulometria.....</b>   | <b>21</b> |
| <b>Figura 7: Análise granulométrica seguindo o método de pipetagem.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>Figura 8: Exemplar de Bolacha-da-praia (Mellita sp.) coletado na sondagem SPT-3.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>Figura 9: Mapa de divisão dos setores da barreira costeira de Panaquatira.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Figura 10: Estruturas construídas anexadas às residências na beirada da praia.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>Figura 11: Perfil estratigráfico da sondagem SPT-3.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Figura 12: Perfil topográfico e cota do NRM da sondagem SPT-3.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>Figura 13: Terreno Baldio onde foi realizada a sondagem SPT-3.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>Figura 14: Teores de matéria orgânica e Carbonato de cálcio nas amostras da sondagem SPT-3.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Figura 15: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes à fácies areno-lamosa.....</b>   | <b>31</b> |
| <b>Figura 16: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes à fácies arenosa.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>Figura 17: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies siltico-arenosa.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>Figura 18: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies arenosa fina.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>Figura 19: Perfil estratigráfico da sondagem SP1.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Figura 20: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies arenosa.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>Figura 21: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes à segunda parte da fácies arenosa.....</b>                                     | <b>39</b> |
| <b>Figura 22: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies areno-siltosa.....</b>  | <b>39</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 23: Sedimentos eólicos sobrepondo sedimentos de margem de canal na região terminal do esporão arenoso.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>Figura 24:Detalhes para o material laterítico e de fragmentos de concha no topo do nível 5.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>Figura 25: Reconstituição da planície areno-lamosa formada no Holoceno no estuário do Rio Santo Antônio (retirado de BIONDO DA COSTA et al., 2019). ....</b> | <b>47</b> |
| <b>Figura 26: Registros sedimentares dos níveis 7 (a) e 8(b) da sondagem SPT-3.....</b>   | <b>50</b> |

**LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1: Granulometria e classificação verbal das amostras coletadas no testemunho SPT-3, os números das amostras correspondem à profundidade em que foram coletadas.**

..... 30

**Tabela 2 Tabela de granulometria e classificação verbal das amostras coletadas no testemunho SP1. 37**

## Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>             | <b>13</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>              | <b>15</b> |
| 2.1. OBJETIVO GERAL .....              | 15        |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....       | 15        |
| <b>3. MÉTODOS.....</b>                 | <b>15</b> |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDO .....              | 15        |
| 3.2. ETAPAS DE CAMPO.....              | 17        |
| 3.3. ANÁLISES LABORATÓRIAS .....       | 20        |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>             | <b>24</b> |
| 4.1. Sondagem SPT-3 .....              | 27        |
| <b>4.1.1. Fácies sedimentares.....</b> | <b>31</b> |
| 4.2. SONDAGEM SP-1 .....               | 35        |
| <b>5. DISCUSSÃO .....</b>              | <b>40</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO.....</b>               | <b>51</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                | <b>54</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Praias arenosas são ambientes deposicionais costeiros formados por sedimentos arenosos inconsolidados de origem fluviomarinha, sujeitos a um intenso retrabalhamento na linha costa. Possuem seus limites vinculados ao continente por falésias ou dunas, e na fronteira marinha limita-se à zona de interação entre as ondas e o sedimento de fundo, denominada de profundidade de base da onda (PARK *et al.*, 1999).

Este sistema deposicional constitui o elo mais dinâmico da transferência de sedimentos do continente ao oceano, sendo seu conhecimento de vital importância no entendimento das zonas costeiras. Segundo MORAIS (1996) e DAVIDSON-ARNOTT (2010) este sistema pode ser dividido quanto aos seus aspectos hidrodinâmicos e geomorfológicos em 3 principais zonas: **Zona de pós praia** (área acima da influência da maré alta, sendo atingida apenas em eventos de alta energia); **Zona Intertidal ou estirâncio** (região entre a maré baixa e a maré alta) e **Zona da Antepraia** (área permanentemente coberta por água, após o limite da maré baixa).

As praias arenosas são classificadas quanto ao ambiente de deposição do sedimento em: oceânicas, estuarinas ou fluviais. O ambiente deposicional de cada praia vai influenciar significativamente no tipo de sedimento transportado e depositado, como resposta aos processos hidrodinâmicos atuantes neste ambiente, como a ação das ondas, maré e correntes. O transporte eólico também possui notória importância para a formação e evolução deste sistema, atuando diretamente na formação de dunas frontais e campos de dunas na região do pós-praia (FRANCO, 2018)

Segundo WRIGHT *et al.* (1982), a morfologia das praias está constantemente associada às características sedimentares e hidrodinâmicas destes ambientes. Dentre as principais forças naturais que atuam na manutenção e modificação dos sistemas praias estão: a interação entre os fenômenos oceanográficos como o regime de ondas e as marés, a ação eólica, a tectônica local, o suprimento sedimentar e a geologia antecedente (DAVIS & HAYES 1984; WRIGHT & SHORT, 1984).

Aprofundando-se no contexto das praias podemos encontrar as barreiras costeiras, que têm sido amplamente estudadas ao redor do mundo, tendo como pioneiros os estudos de: DE BEAUMONT (1885), GILBERT (1885), MCGEE (1890) e HOYT (1967). No Brasil, o pioneirismo no estudo de barreiras costeiras dá destaque aos trabalhos realizados por WILLWOCK *et al.* (1986) nas planícies costeiras do Rio Grande do Sul, onde se obtiveram grande parte do conhecimento sobre estes ambientes

deposicionais holocênicos no Brasil. DILLENBURG *et al.* (2000) discutiu as características de todas as barreiras costeiras holocênicas do Rio Grande do Sul. TRAVESSAS *et al.* (2005) utilizou dados de sondagem geológicas para entender a estratigrafia e a evolução da barreira costeira do Rio Grande do Sul, no trecho Tramandaí-Cidreira. Para o nordeste podemos destacar os trabalhos de Bittencourt *et al.* (1982) e Bittencourt *et al.* (1983) na foz do rio São Francisco e litoral de Sergipe e Alagoas, que estudaram o papel da deriva litorânea na construção dos depósitos sedimentares associados à desembocadura do rio São Francisco e a evolução quaternária da costa dos dois estados.

Para o estado do Maranhão, o conhecimento sobre suas barreiras costeiras é bastante recente, tendo como pioneiro nos estudos de barreiras holocênicas em ambientes de macro-maré o trabalho realizado por LIMA *et al.* (2020) que, utilizando sondagens geológicas e perfis praias pôde entender como se deu a origem e a evolução destas barreiras costeiras em ambiente macro-maré, no litoral da Ilha do Maranhão.

Neste trabalho as barreiras costeiras foram classificadas em 2 tipos principais, dependendo do tipo de ligação que apresentam com o continente, sendo elas: Barreiras de Praias Anexadas (*Mainland Beach Barrier*), caracterizadas por uma topografia antecedente íngreme e reduzido espaço de acomodação na praia e antepraia; e Barreiras de Esporões Arenosos (*Headland Spit Barrier*) que surgem ligados a promontórios rochosos, e então progradam lateralmente, sob controle da corrente longitudinal de sedimentos.

Barreiras costeiras do tipo Esporão Arenoso (*Sand Spit*) são caracterizadas como depósitos arenosos paralelos à linha de costa ou seguindo em direção ao mar que estão parcialmente conectados ao continente (*sensu* OTVOS, 2012), sendo classificadas em transgressivas (que se formam associadas a erosão da linha de costa) e regressivas, que formam cordões arenosos (*foredune ridges* e *beach-ridges*) devido ao retrabalhamento dos sedimentos pela ação das ondas e transporte eólico.

Na Ilha do Maranhão estes sistemas deposicionais têm sua formação ligada às variações do Nível Relativo do Mar (NRM), sendo estabelecidas no presente litoral durante a transgressão holocênica, pouco antes do máximo transgressivo holocênico (LIMA *et al.*, 2020). Em  $7.240 \pm 30$  anos AP já existia uma laguna isolada do litoral densamente ocupada de manguezais viabilizada por barreira costeira do tipo esporão arenoso, ancorada às falésias da Ponta do Farol (ALBUQUERQUE, 2018).

BIONDO DA COSTA *et al.* (2019) realizou a reconstituição paleoambiental do Quaternário do estuário do rio Santo Antônio estudando a estratigrafia de um afloramento de bioclastos, em um tempo anterior à formação do esporão arenoso de Panaquatira. Este trabalho não só destacou a origem dos ambientes instalados nesta localidade, como também levantou uma série de lacunas pertinentes a estratigrafia e a origem dos depósitos sedimentares na região. Assim o presente trabalho é uma resposta na busca à estas lacunas do conhecimento acerca da geologia e estratigrafia da região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo principal descrever a estratigrafia de um esporão arenoso em ambiente de macro-maré na praia de Panaquatira.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i) Construir perfis estratigráficos através de dados de sondagens realizadas na barreira costeira (sondagens de subsuperfície);
- ii) Definir a cronologia de instalação da barreira costeira do tipo esporão arenoso, com base em datação por radioisótopos de carbono;
- iii) Caracterizar os diferentes ambientes deposicionais (pretéritos e atuais) presentes na seção estratigráfica.

## **3. MÉTODOS**

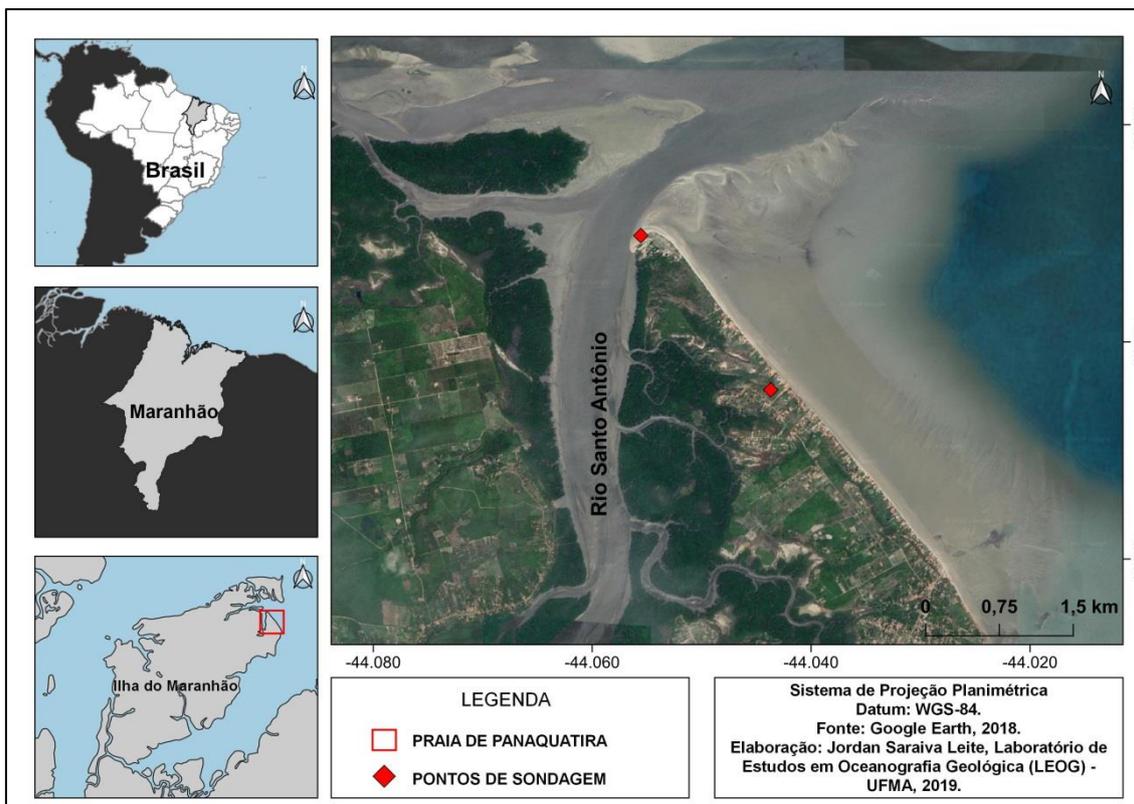
### **3.1. ÁREA DE ESTUDO**

O litoral do Estado do Maranhão é recortado por estuários e manguezais em grandes concentrações em sua porção ocidental, e por dunas e praias arenosas na porção oriental. Essa diversidade de ecossistemas também se apresenta na Ilha do Maranhão, uma vez que a mesma encontra-se num contexto de transição entre os dois setores, localizada na porção mais central do litoral do estado, denominada de Golfão Maranhense. Inseridos nesta porção estão as baías de São Marcos e São José, constituindo um importante e complexo sistema estuarino na região, onde atuam fortemente variáveis eólicas, fluviomarinhas e oceanográficas modelando o relevo e o litoral da região, além de fornecer sedimentos de origem fluvial para a baía (FEITOSA, 2006).

A Praia de Panaquatira (Figura 1) pertence ao município de São José de Ribamar e está localizada no litoral leste da Ilha do Maranhão sob as coordenadas  $2^{\circ}30'6.56''\text{S}$  e  $44^{\circ}1'40.32''\text{W}$ , banhada pelas águas da Baía de São José e Oceano Atlântico. É uma praia arenosa, uma das poucas semi-abrigadas do litoral da Ilha do Maranhão, ultradissipativa (FRANCO, 2018), com um regime de macro-maré, onde apresentam variações de até 6 m e 7 m durante as maiores marés de sizígias (DHN, 2021) e uma extensa zona de inter-maré, com aproximadamente 1km de extensão durante a maré baixa.

Panaquatira também possui uma importância ecológica e ambiental muito elevada, sendo um dos dois únicos sítios de aves migratórias do território do Estado do Maranhão (GUEI, 2005), o que eleva a necessidade de manutenção e preservação das características naturais ambientais da região a fim de manter a migração sazonal de diversas espécies de aves migratórias que procuram o litoral maranhense para alimentação e reprodução.

**Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.**



A origem desta praia está vinculada ao desenvolvimento de um esporão arenoso ancorado às falésias da Formação da Itapecuru (Figura 2) e junto à desembocadura do Rio Santo Antônio e Paciência (BIONDO DA COSTA *et al.*, 2019). Os processos

erosivos são evidentes ao longo da praia através da presença de material rochoso (laterítico) e siltoso inconsolidado, desagregado das falésias em condições de marés mais altas e sendo retrabalhados na linha de costa (FRANCO, 2018) (figura 2). A destruição de muros e calçadas de residências localizadas sobre dunas frontais também é um importante indicador de erosão nesta praia.

**Figura 2:** Falésias da Formação Itapecuru presentes no Setor 1 da praia de Panaquatira com a presença de rochas lateríticas na base da falésia.



### 3.2. ETAPAS DE CAMPO

Foram realizadas duas sondagens geológicas na praia de Panaquatira a fim de se conhecer a estratigrafia da barreira costeira presente nesta localidade. As sondagens foram dos tipos *Standart Penetration Test* (SPT) (Figura 3) e *Sondagem a Percussão* (SP) (Figura 4). A sondagem SPT consiste na medida de resistência dinâmica do solo e na recuperação de amostras sedimentares para fins de reconhecimento sedimentar. Esta técnica de sondagem geotécnica permite que sejam recuperadas amostras em altas profundidades, mas de forma descontínua, isto significa que através dessa técnica é recuperado um registro sedimentar intacto de 45 cm a cada metro pelo amostrador e 55 cm de registro sedimentar fica perturbado sendo extraídos por meio de perfuração

manual com um trépano e circulação de água com betonita a cada metro, sendo despejadas em baldes da equipe de sondagem, o material sedimentar recuperado nesta fase da sondagem é chamado de material lavado. A penetração do amostrador sob números de batidas específicas de um peso batente de 65kg sobre hastes ligadas ao amostrador na ponta fornece um índice de compactação do solo, além de recuperar amostras sedimentares a cada 0,45 m perfurados (NBR-6468). As amostras recuperadas durante a sondagem foram fotografadas e medidas quanto ao comprimento ainda no amostrador, descritas e armazenadas em sacos plásticos devidamente etiquetados no local da sondagem. Após a etapa de campo, as amostras de sedimento foram submetidas a testes granulométricos, de teor de carbonato e matéria orgânica em laboratório.

**Figura 3: Realização da Sondagem SPT-3.**



A Sondagem SP consiste na penetração de um cano de PVC de diâmetro igual a 75 mm, espessura de 2 mm e comprimento de 6 m, introduzido através de uma sequência de golpes aplicados com um peso batente de 20 kg sobre a braçadeira móvel fixada no cano, até que se obtenha a penetração completa do cano no solo ou até o limite do cano. A remoção do testemunho é feita utilizando uma talha de corrente e um cabo preso à braçadeira através de um sistema de polias acoplados a um tripé. Após o procedimento de campo, os testemunhos foram abertos em laboratório utilizando uma

serra circular e posteriormente descritos quanto à cor (MUNSELL, 2009), textura, fácies e estruturas sedimentares. Após a descrição do registro sedimentar, as amostras coletadas neste testemunho foram submetidos a testes de granulometria.

**Figura 4: Realização da sondagem SP-1.**



Foram realizadas ainda durante a fase inicial deste estudo, saídas de campo com o objetivo de reconhecer a área de estudo e de identificar os locais mais propícios para a realização das sondagens. Utilizando-se de um GPS Garmin e máquinas fotográficas, foram identificados e escolhidos os pontos de interesses específicos neste trabalho, como locais em erosão, diferentes feições geomorfológicas e pontos propícios para sondagem.

Para a correta interpretação dos dados do testemunho, fez-se necessário realizar uma saída de campo extra com o objetivo de aferir as cotas altimétricas em relação ao NRM da sondagem SPT-3, para isto foi utilizado um Nível Topográfico da marca CST Berger 32X acoplado a um tripé, com o auxílio de uma régua de cinco metros de altura e uma corda graduada de 8m de comprimento a qual servia como medida da distancia

para posicionar a régua em relação ao nível topográfico. O procedimento foi realizado durante a preamar de sizígias, com a maré apresentando 5,2m de altura (DHN, 2021), no qual o perfil topográfico foi ancorado na região da sondagem e seguiu até o nível da maré alta no momento em que se encerrou o perfil, totalizando um comprimento total de 120m.

### 3.3. ANÁLISES LABORATÓRIAS

As análises granulométricas em laboratório sucederam as etapas de campo e tiveram como objetivo conhecer a relação entre a presença e as dimensões das partículas de sedimentos nos diferentes ambientes deposicionais encontrados na região, trazendo informações quanto a sua origem e transporte, possibilitando o entendimento quanto as características sedimentares e hidrodinâmicas da Praia de Panaquatira, no passado e no presente.

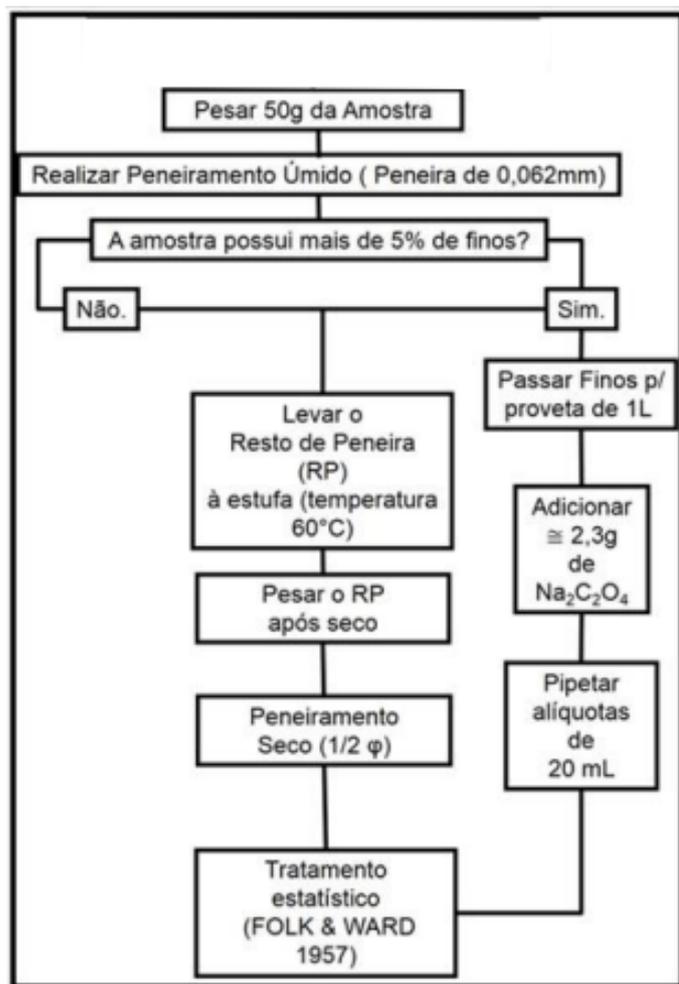
*Figura 5: Procedimento de coleta de amostras em testemunho.*



Em laboratório as amostras coletadas tanto na sondagem SPT quanto na sondagem SP foram lavadas com água doce para retiradas de sais e secas na estufa a

50°C. Posteriormente, foram retiradas alíquotas de 50g em cada amostra para serem submetidas aos testes de granulometria (Figura 5).

**Figura 6:** Etapas do procedimento de granulometria realizado pelo Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG).



O processamento das amostras ocorreu segundo os métodos convencionais de peneiramento e pipetagem (figura 7) (Suguio, 1973) seguindo o fluxograma da figura 6. As amostras que passaram por peneiramento foram agitadas utilizando um agitador automático, durante 10 minutos, em um conjunto de peneiras intervaladas em  $1/2\phi$  (2,00; 1,41; 1,00; 0,71; 0,50; 0,351; 0,250; 0,177; 0,125; 0,088 e 0,062 mm). Os dados obtidos nestas análises foram processados no software SYSGRAN 2.0® e analisados segundo os métodos estatísticos descritos por Folk e Ward (1957).

**Figura 7: Análise granulométrica seguindo o método de pipetagem.**



O teor de matéria orgânica foi determinado utilizando a metodologia descrita por WETZEL (1975). Esta metodologia consiste na determinação por via seca, através da calcinação de sedimento em forno de Lavoisier a 550°C durante 4 horas. Para realizar o procedimento foram separados 5g de cada amostra nas profundidades equivalentes as que foram coletadas as amostras para granulometria, posteriormente colocados em cadinhos e pesados antes e depois de serem calcinados. A porcentagem de matéria orgânica é calculada a partir do resultado da subtração dos pesos antes e depois da calcinação.

A quantificação do teor de carbonato nas amostras foi realizada seguindo o método descrito por DEAN (1974). Foram separados 10 g de cada amostra nas alturas equivalentes as que foram coletadas as amostras para granulometria e teor de M.O., secas na estufa à 50° C sendo posteriormente obtido o peso inicial da amostra em uma balança de precisão. Após se obter o peso inicial da amostra foi adicionado ao frasco um volume de ácido clorídrico (HCl) diluído a 10% em água suficiente para cobrir toda a amostra de sedimento.

O volume de HCl foi retirado de cada amostra e completado novamente com um novo volume até que não se observou mais a formação de bolhas oriundas da dissolução do  $\text{CaCO}_3$ , após observar este acontecimento, o volume de HCl presente foi removido e as amostras seguiram para a estufa à  $50^\circ\text{C}$  para secar, posteriormente foram pesadas em balança de precisão afim de se obter o peso final da amostra. O teor de carbonato na amostra foi calculado por gravimetria (diferença entre o peso inicial e o peso final da amostra).

Em paralelo às análises sedimentares descritas anteriormente, com o objetivo de descobrir uma idade para a formação da barreira costeira, foi realizada em uma amostra fragmentada de Bolacha-do-Mar (*Mellita sp.*) (figura 8) uma datação por radiocarbono no laboratório BETA ANALYTICS RADIOCARBON DATING LABORATORY em Miami, Flórida, EUA, onde a técnica de detecção foi pelo método *Accelerator Mass Spectrometry* (AMS). Para calibrar a amostra foi utilizada a base de dados MARINE13 (REIMER, *et.al.*, 2013).

**Figura 8:** Exemplar de Bolacha-da-praia (*Mellita sp.*) coletado na sondagem SPT-3.



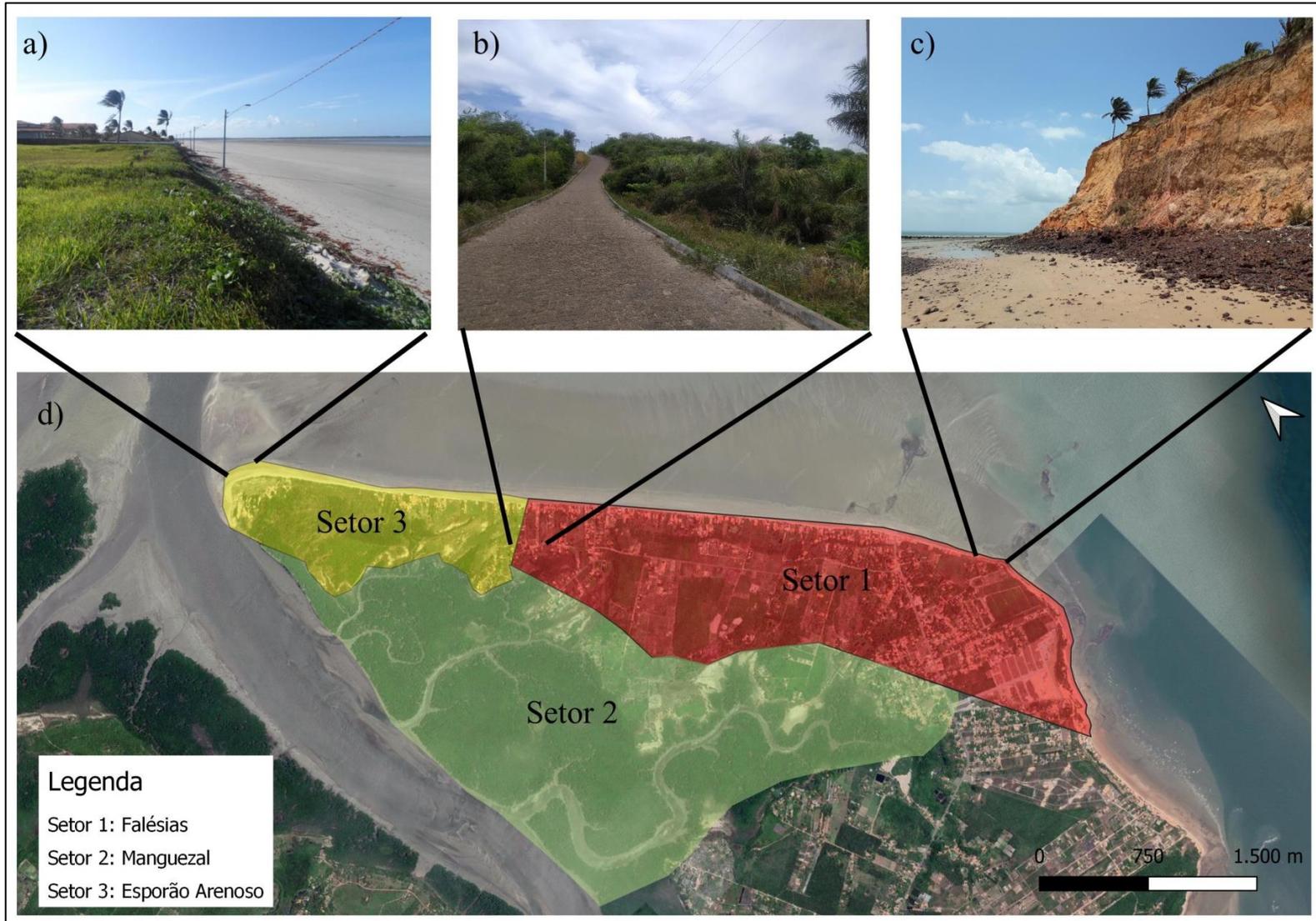
#### 4. RESULTADOS

Com o objetivo de entender melhor os processos e feições geomorfológicas atuais da Praia de Panaquatira, dividiu-se a região costeira em 3 setores bem demarcados, descritos na figura 9-d, separados por características observadas em campo de: geomorfologia, vegetação e ecossistemas. O setor 1 possui uma predominância de feições de falésias ativas (Figura 9-c), marcado principalmente pela elevada altitude em relação aos outros dois setores. É neste setor onde ocorre a erosão das falésias em eventos de alta energia, fornecendo suprimento sedimentar para o esporão arenoso e material cascalhoso laterítico que fica aprisionado na face praial, (figura 2). Neste setor são observados afloramentos lateríticos na antepraia, ao qual influenciam diretamente no comportamento morfodinâmico da praia, uma vez que funcionam como espigões naturais, modificando o transporte de sedimentos via deriva litorânea (LIMA *et al*, 2020).

O setor 2 apresenta a predominância do ecossistema manguezal, podendo ser classificado como terraços de maré, que tiveram seu desenvolvimento iniciado com o recuo do NRM após o máximo transgressivo holocênico (BIONDO DA COSTA *et al.*, 2019). Localizado na retaguarda da barreira costeira de Panaquatira, este setor sofre influência direta do estuário do rio Santo Antônio e da maré, possibilitando a existência de igarapés e canais na retrobarreira.

O setor 3 por sua vez, tem seu início onde a declividade do terreno diminui drasticamente, em campo isso pôde ser observado através do alto declive em uma estrada no interior da barreira costeira (Figura 9-b), esta tem seu topo localizado sobre o setor 1, enquanto que sua base está localizada sobre o Setor 3. Este setor se estende até a ponta do esporão arenoso (Figura 9-a), onde tem seu crescimento limitado pelo espigão hidráulico dos Rios Paciência e Santo Antônio.

Figura 9: Mapa de divisão dos setores da barreira costeira de Panaquatira.



Na orla da praia e sobre a falésia foram construídas residências de temporada que atualmente encontram-se expostas à ação das ondas, suscetíveis aos eventos erosivos atuantes na barreira costeira, pois estão localizadas exatamente onde em tempos pretéritos provavelmente existiam dunas frontais, a exemplo da parte terminal da barreira. A destruição destas dunas traz uma série de problemáticas relacionadas à erosão, pois elas estabelecem um importante papel para o equilíbrio sedimentar de uma praia, atuando diretamente no estoque sedimentar. Quando ocorrem eventos de alta energia e a consequente erosão da praia, são estas dunas que fornecem os sedimentos para manter o equilíbrio sedimentar nestes ambientes e mitigar os efeitos da erosão na linha de costa. Os efeitos desta erosão foram observados visualmente em alguns pontos ao longo da praia, entretanto, na região terminal da barreira estes efeitos aparentam ser minimizados pela conservação das dunas frontais, que possuem um importante papel no equilíbrio das praias arenosas.

Ao longo do Setor 1 e início do setor 3 foram construídos anexadas a estas residências, muros de concreto do tipo *seawall* (figura 10), muros de madeira e enrocamentos, com o objetivo de conter a erosão e preservar sua propriedade. A presença destes aparatos de proteção do litoral aparenta não terem sido muito eficientes para conter o avanço da erosão na região, pois na grande maioria dos casos, estas intervenções acabam por modificar o estágio praiar, podendo até potencializar a erosão. Isto é observado com facilidade pela presença de ruínas de outros aparatos construídos anteriormente no local dos aparatos atuais, que não suportaram a ação das ondas e acabaram sendo destruídos (Figura 10-a).

**Figura 10: Estruturas construídas anexadas às residências na beirada da praia.**



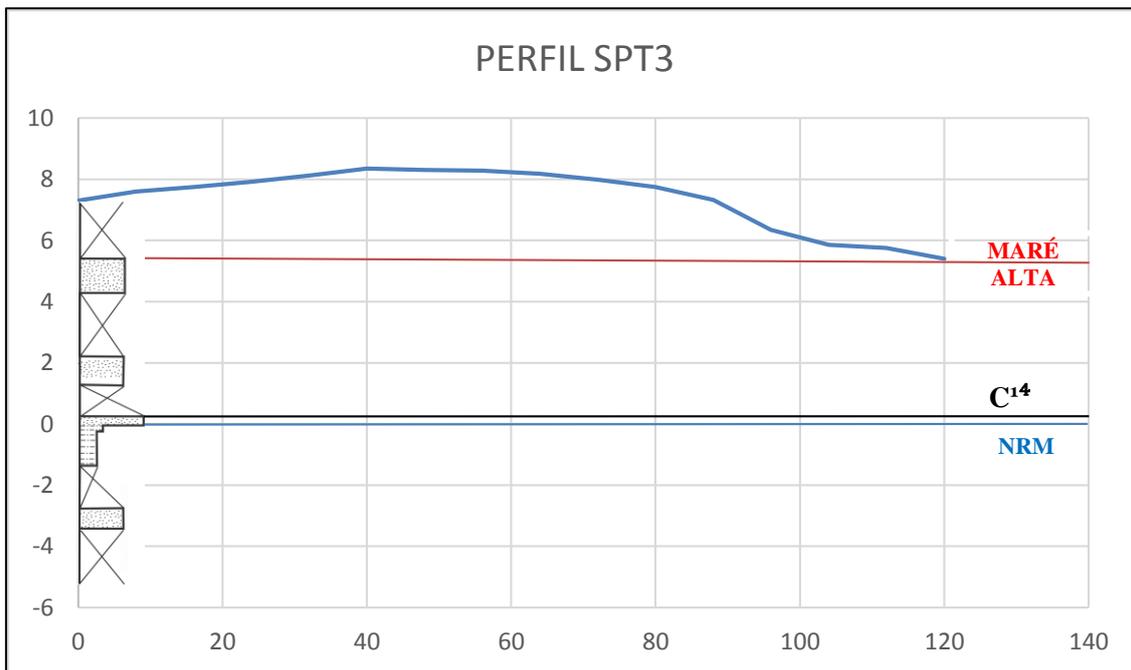
#### **4.1. Sondagem SPT-3**

Uma sondagem SPT denominada SPT-3 foi realizada no setor 3, sobre as dunas frontais (figura 13) há 120 m da praia e 7,3 m acima do nível relativo do mar . Esta sondagem parte do início da progradação lateral do esporão arenoso de Panaquatira adjacente ao setor 1. A sondagem SPT-3 recuperou um total de 10 m de registro sedimentar, interceptando depósitos sedimentares relacionados ao Membro Alcântara da formação Itapecuru na base e depósitos holocênicos no topo (Figura 11).

O perfil praial para determinação da cota da sondagem em relação ao NRM ocorreu durante a maré cheia de sizígias, com uma altura de 5,2 m (DHN, 2021), onde foi obtida uma cota de 7,3 m acima do NRM para o local em que foi realizada a sondagem SPT-3 e 0,3 m acima do NRM (figura 12) no local onde foi coletado o fragmento de Bolacha-da-praia para datação  $C^{14}$ .



**Figura 12: Perfil topográfico e cota do NRM da sondagem SPT-3.**



Para uma melhor compreensão do registro sedimentar, o perfil desta sondagem foi dividido em quatro fácies sedimentares de acordo com critérios sedimentológicos, são elas: uma arenosa-lamosa no topo (0m a 5m) representada pelos níveis 2 e 4 correspondendo aos ambientes deposicionais de terraços de maré; uma fácies essencialmente arenosa de 5 a 7,3 m de profundidade, englobando o nível 5 e o topo do nível 7 correspondendo a um paleoambiente praiado e terraços de abrasão marinha; uma fácies síltico-arenosa entre as profundidades de 7,3 m e 8,6 m, compreendendo os níveis 7 e 8 que correspondem aos depósitos do Membro Alcântara da Formação Itapecuru; e uma fácies arenosa fina, de 8,6 m a 10 m de profundidade.

**Figura 13: Terreno Baldio onde foi realizada a sondagem SPT-3.**



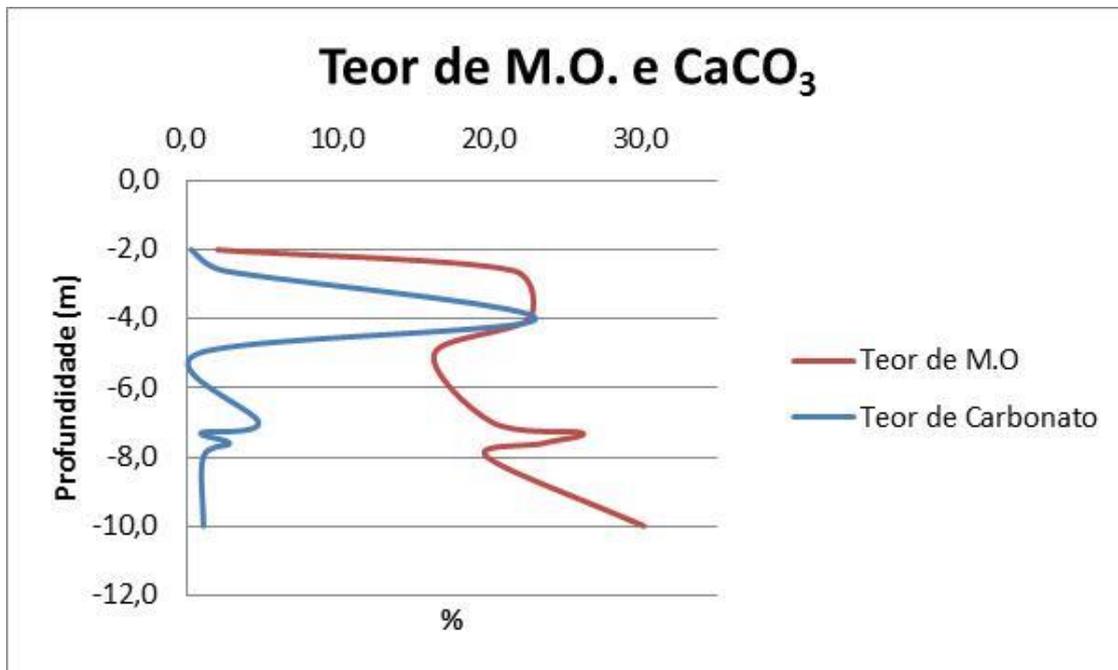
Os Resultados obtidos nas análises estatísticas de granulometria através do método descrito por Folk e Ward (1957), estão descritos na Tabela 1, bem como suas classificações verbais.

**Tabela 1: Granulometria e classificação verbal das amostras coletadas no testemunho SPT-3, os números das amostras correspondem à profundidade em que foram coletadas.**

| Amostras | Média | Classificação    | Seleção                           | Simetria                  | Curtose                   |
|----------|-------|------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2,0      | 3,037 | Areia muito fina | Pobrementemente selecionado       | Muito positiva            | Extremamente leptocúrtica |
| 2,6      | 3,033 | Areia muito fina | Moderadamente selecionado         | Positiva                  | Muito leptocúrtica        |
| 4,0      | 3,706 | Areia muito fina | Pobrementemente selecionado       | Positiva                  | Extremamente leptocúrtica |
| 5,0      | 2,723 | Areia fina       | Moderadamente selecionado         | Negativa                  | Leptocúrtica              |
| 7,0      | 2,623 | Areia fina       | Muito pobrementemente selecionado | Aproximadamente simétrica | Muito leptocúrtica        |
| 7,3      | 5,731 | Silte médio      | Muito pobrementemente selecionado | Aproximadamente simétrica | Mesocúrtica               |
| 7,4      | 6,481 | Silte fino       | Pobrementemente selecionado       | Muito negativa            | Mesocúrtica               |
| 7,6      | 6,814 | Silte fino       | Muito pobrementemente selecionado | Muito positiva            | Muito platicúrtica        |
| 8,0      | 6,657 | Silte fino       | Muito pobrementemente selecionado | Positiva                  | Muito platicúrtica        |
| 8,6      | 6,978 | Silte fino       | Muito pobrementemente selecionado | Muito positiva            | Muito platicúrtica        |
| 10,7     | 3,39  | Areia muito fina | Bem selecionado                   | Muito positiva            | Muito leptocúrtica        |

Os teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica desta sondagem estão descritos na figura 14. Na profundidade de 4 metros foram obtidos os maiores valores de carbonato, chegando a 22,9% na amostra 4,0 e teores de M.O. variando entre 16% e 30% a partir da profundidade de 2,6m até a base do registro.

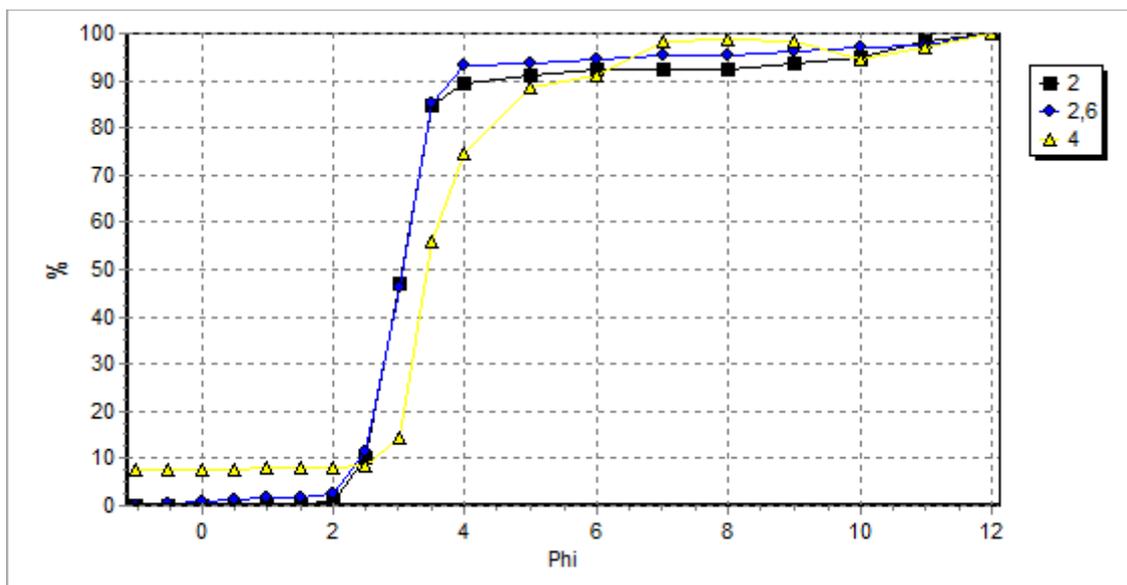
Figura 14: Teores de matéria orgânica e Carbonato de cálcio nas amostras da sondagem SPT-3.



#### 4.1.1. Fácies sedimentares

##### a) Fácies areno-lamosa.

Figura 15: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes à fácies areno-lamosa.

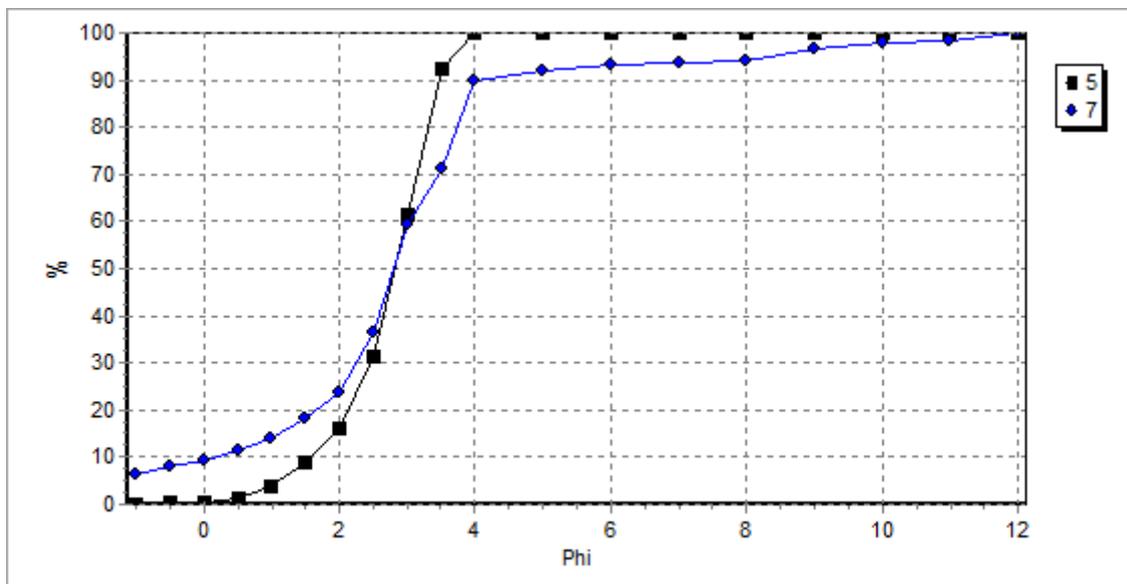


Conforme as amostras chegavam à superfície, eram imediatamente descritas quanto à textura, cor, fácies e estruturas. Nesta fácies localizada no topo do registro foi

recuperado o nível 2 (Amostras 2,0 e 2,6), conforme a figura 15 nos apresenta, nesta fácies predominam sedimentos classificados como areia muito fina ( $3,5\Phi$ ) de pobremente selecionada a moderadamente selecionada, de coloração cinza (N5 à N8), com a presença de lentes de lama de cor preta (N1). Estratificações de matéria orgânica (M.O.) e fragmentos vegetais foram encontrados na amostra 2,0 evidenciando um ambiente deposicional composto por terraços de maré, caracterizado pelo ecossistema manguezal. Nesta camada os valores de assimetria variaram de positiva a muito positiva e quanto à curtose, as amostras foram classificadas como extremamente leptocúrtica e muito leptocúrtica. A amostra 4,0 (nível 4) também apresentou uma granulometria predominantemente areia muito fina ( $3,5\Phi$ ), pobremente selecionada, com uma assimetria positiva e extremamente leptocúrtica, de coloração escura (N3) apresentando em todo o nível fragmentos de conchas desarticuladas, conchas em posição de vida e moluscos gastrópodes e conseqüentemente um alto teor de carbonato de cálcio (22,9%), evidenciando os ambientes de terraços de maré no local.

**b) Fácies Arenosa.**

**Figura 16: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes à fácies arenosa.**

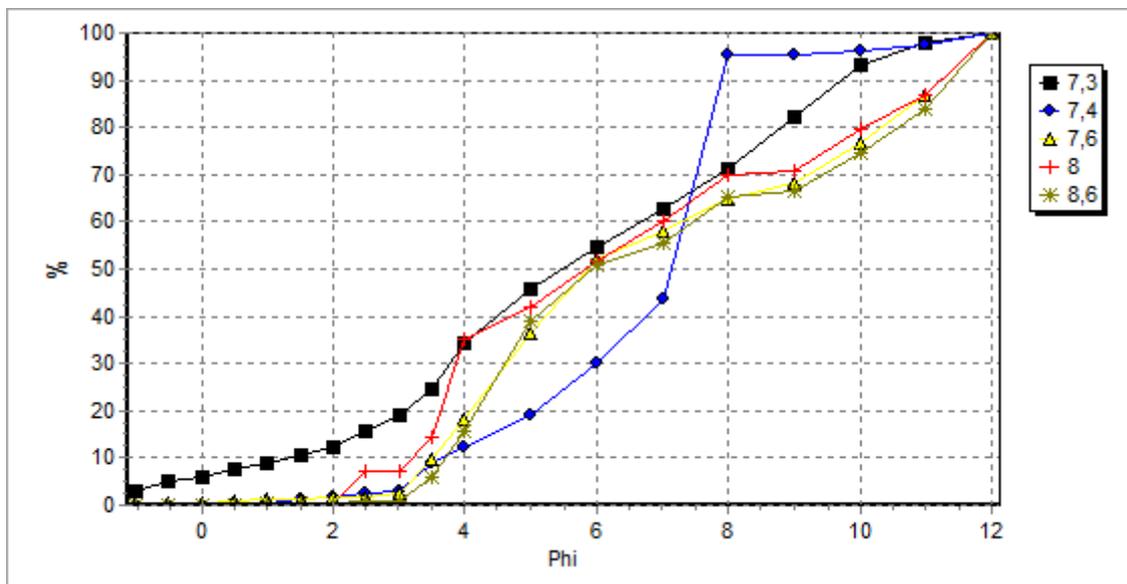


Esta fácies corresponde aos depósitos recuperados nas profundidades de 5 a 7 metros (amostras 5,0 e 7,0), conforme observado na figura 16, ao nível de 5 m (amostra 5,0) encontrou-se uma areia fina ( $2,0\Phi$ ), moderadamente selecionada, leptocúrtica, com assimetria negativa (0,2604) de cor cinza escuro (N5) com a presença de fragmentos de conchas dispersas e um nível laterítico no topo apresentando sinais de oxidação. A camada subsequente foi lavada durante a técnica e não pôde ser recuperada.

A classificação verbal da amostra 7 também indica a predominância de areia fina ( $2,0\Phi$ ) de cor 5Y 6/4, muito pobremente selecionada, aproximadamente simétrica e muito leptocúrtica. Ainda na amostra 7,0, em uma região de transição entre sedimentos mais escuros e acinzentados (Holocênicos) para sedimentos mais amarelados e avermelhados (Membro Alcântara) e 30cm acima do NRM atual, foram coletados fragmentos de Bolacha-da-praia (*Mellita* sp.) (Figura 8), datada através da análise de Carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ) em 3360 +/- 30 anos antes do presente (AP), evidenciando que o ambiente deposicional correspondente à esta fácies é tipicamente praiial.

*c) Fácies siltico-arenosa.*

Figura 17: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies siltico-arenosa.

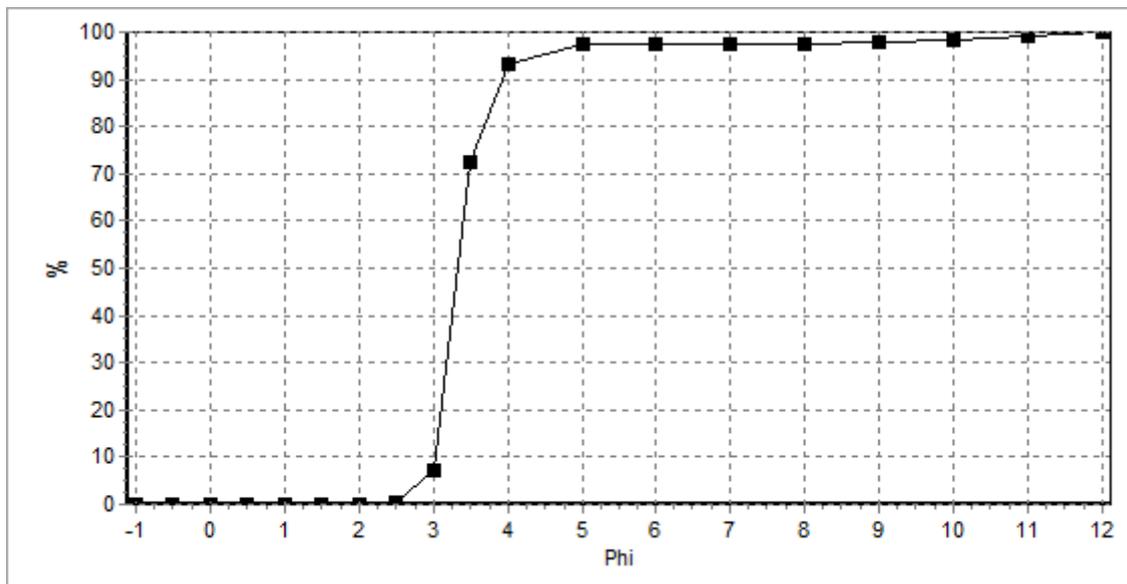


A partir da Profundidade de 7,20 m foram recuperados sedimentos de coloração variegada (5Y 6/4 à 5Y 5/6) da fácies areno-siltosa relacionados aos depósitos do Membro Alcântara. Observando a figura 17 podemos notar que a amostra 7,3 apresentou predominância de silte médio (5,0  $\Phi$ ), muito pobremente selecionado, de assimetria positiva a muito positiva, aproximadamente simétrica e mesocúrtica. As amostras 7,4; 7,6; 8,0 e 8,6 por sua vez, apresentaram predominância de silte fino (6,0  $\Phi$ ) de pobremente a muito pobremente selecionados, com assimetrias variando de positiva a muito positiva e de curtose mesocúrtica a muito platicúrtica. Foram observadas nesta fácies lentes de lama milimétricas e centimétricas de cor 5Y 4/1 e com padrões 5G 6/1, No topo desta fácies foi identificado um nível laterítico cascalhoso de coloração 10R 4/6.

*d) Fácies arenosa fina.*

Aos 10m de profundidade foi encontrada uma areia muito fina (3,5 $\Phi$ ) (figura 18), bem selecionada, com uma assimetria muito positiva e muito leptocúrtica de cor bege claro (5Y 8/1), com laminações de silte esbranquiçado (10G 6/2) e silte escuro avermelhado (10R 6/6). Na areia também foram encontrados minerais pesados.

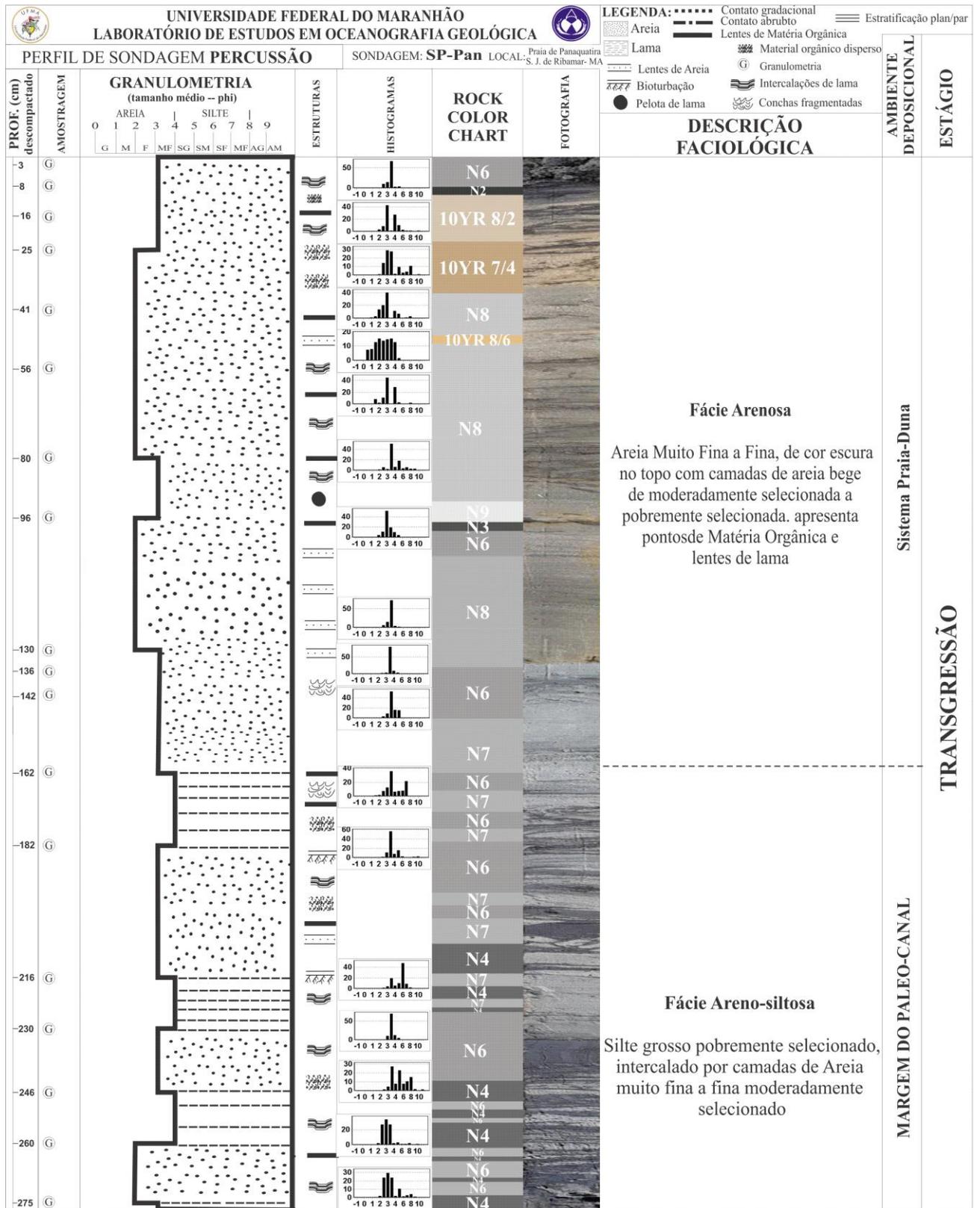
**Figura 18: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies arenosa fina.**



#### 4.2. SONDAGEM SP-1

A sondagem SP-1 (Figura 19) foi realizada na parte mais avançada e jovem do esporão arenoso, em sua região terminal, na zona de intramaré superior, com a intenção de entender o processo de evolução recente da barreira. Esta região sofre influência direta da foz do rio Santo Antônio e Paciência que aportam uma grande quantidade de sedimentos para o sistema, o que ocasiona a formação de bancos de areia e deltas de maré vazante na foz do canal estuarino. A maré também exerce grande influência na geomorfologia e sedimentação no local. Os dados de granulometria, bem como sua classificação verbal estão apresentados na Tabela 2.

Figura 19: Perfil estratigráfico da sondagem SP1.

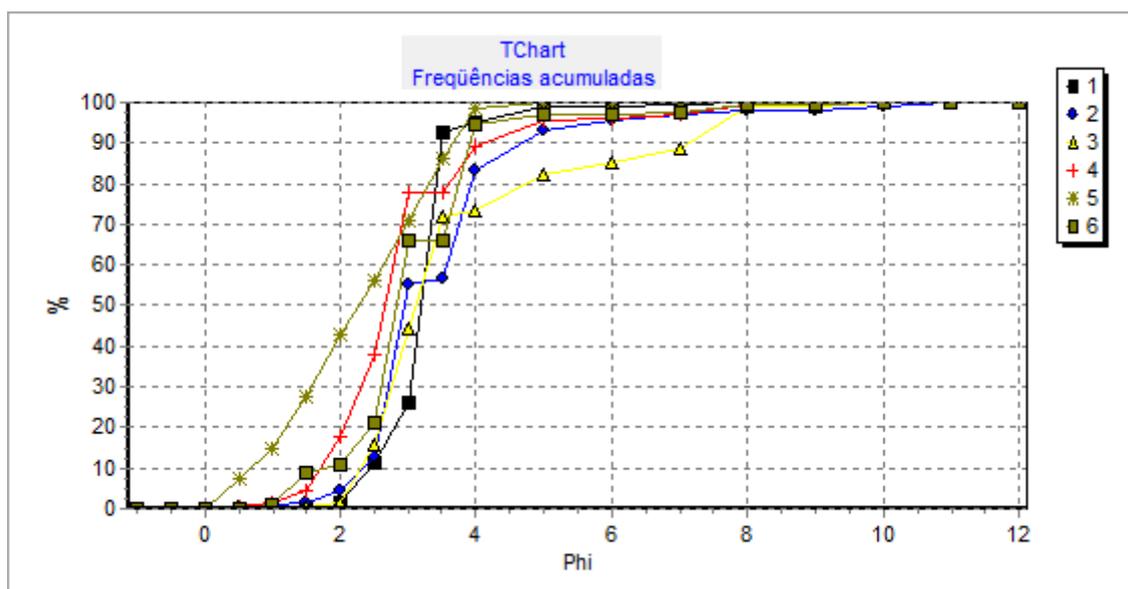


**Tabela 2 Tabela de granulometria e classificação verbal das amostras coletadas no testemunho SP1.**

| Amostras | Média | Classificação    | Mediana | Seleção                   | Assimetria                | Curtose            |
|----------|-------|------------------|---------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1        | 3,091 | Areia muito fina | 3,18    | Bem selecionado           | Negativa                  | Muito leptocúrtica |
| 2        | 3,178 | Areia muito fina | 2,938   | Moderadamente selecionado | Muito positiva            | Leptocúrtica       |
| 3        | 3,747 | Areia muito fina | 3,099   | Pobrememente selecionado  | Muito positiva            | Leptocúrtica       |
| 4        | 2,783 | Areia fina       | 2,651   | Moderadamente selecionado | Positiva                  | Muito leptocúrtica |
| 5        | 2,248 | Areia fina       | 2,272   | Pobrememente selecionado  | Aproximadamente simétrica | Platicúrtica       |
| 6        | 2,962 | Areia fina       | 2,821   | Moderadamente selecionado | Positiva                  | Mesocúrtica        |
| 7        | 3,844 | Areia muito fina | 3,403   | Pobrememente selecionado  | Muito positiva            | Muito leptocúrtica |
| 8        | 2,925 | Areia fina       | 2,834   | Moderadamente selecionado | Positiva                  | Leptocúrtica       |
| 9        | 3,12  | Areia muito fina | 3,187   | Bem selecionado           | Muito negativa            | Muito leptocúrtica |
| 10       | 3,266 | Areia muito fina | 3,266   | Muito bem selecionado     | Aproximadamente simétrica | Muito leptocúrtica |
| 11       | 3,475 | Areia muito fina | 3,336   | Moderadamente selecionado | Positiva                  | Muito leptocúrtica |
| 12       | 4,149 | Silte grosso     | 3,397   | Pobrememente selecionado  | Muito positiva            | Platicúrtica       |
| 13       | 3,6   | Areia muito fina | 3,326   | Moderadamente selecionado | Muito positiva            | Muito leptocúrtica |
| 14       | 4,79  | Silte grosso     | 5,199   | Pobrememente selecionado  | Muito negativa            | Platicúrtica       |
| 15       | 3,313 | Areia muito fina | 3,278   | Bem selecionado           | Positiva                  | Muito leptocúrtica |
| 16       | 4,924 | Silte grosso     | 4,418   | Pobrememente selecionado  | Muito positiva            | Platicúrtica       |
| 17       | 2,815 | Areia fina       | 2,807   | Moderadamente selecionado | Positiva                  | Muito leptocúrtica |
| 18       | 3,155 | Areia muito fina | 2,907   | Pobrememente selecionado  | Muito positiva            | Muito leptocúrtica |

**a) Fácies arenosa**

**Figura 20: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies arenosa.**



Esta fácies está representada por uma extensa camada arenosa que compreende as amostras de 1 a 11 e caracteriza o ambiente deposicional de um sistema praia-dunas, onde as análises granulométricas apresentaram resultados de areia muito fina ( $3\Phi$ ) nas amostras de 1 a 3 e areia fina ( $2\Phi$ ) nas amostras 4 a 6, conforme apresentado na figura 20. Uma coloração cinza (N6) foi encontrada nas amostras 1, 2 e 3 enquanto que nas alturas das amostras 4, 5 e 6 houve predominância nas cores 10YR 8/2 e 10YR 7/4 em areias finas com sinais de oxidação. Quanto a seleção e assimetria, a amostra 1 se apresenta bem selecionada, as amostras 2, 4 e 6 moderadamente selecionadas e as amostras 3 e 5 pobrememente selecionadas. Quanto a assimetria, as amostras 2 e 3

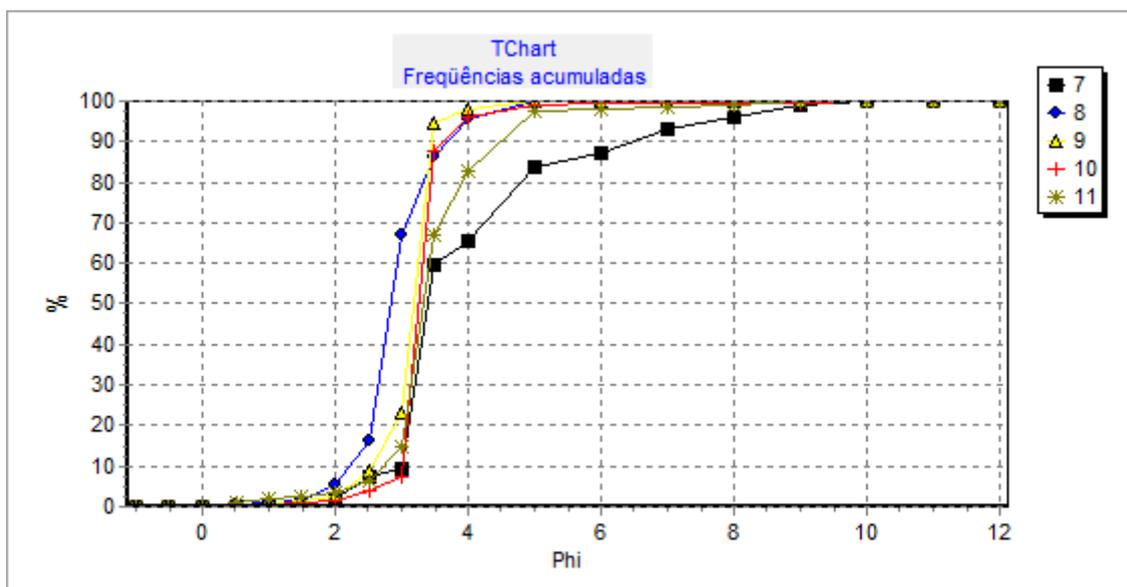
apresentaram valores muito positivos; as amostras 1 e 5 negativa e aproximadamente simétrica, respectivamente, e as amostras 4 e 6 com valores positivos. A curtose das amostras foi classificada como muito leptocúrtica nas amostras 1 e 4; leptocurtica nas amostras 2 e 3; platicúrtica na amostra 5 e mesocúrtica na amostra 6.

A amostra 8 apresentou predominância de areia fina ( $2\Phi$ ), moderadamente selecionada, com assimetria positiva e leptocúrtica, enquanto as amostras 7, 9, 10 e 11 areia muito fina ( $3\Phi$ ) (figura 21), variando de pobremente selecionados a muito bem selecionados, e silte grosso( $4\Phi$ ) pobremente selecionado na amostra 12

A partir da amostra 7 à amostra 11 os sedimentos pouco variaram em quesito de coloração, onde foram observados sedimentos de cor N8 a N6 com laminações de sedimento escuro (N3) e de sedimentos de cor N9 na profundidade da amostra 8 (0,96 m). Quanto a coloração, a partir da profundidade de 1,36 m (amostra 9) é possível observar uma tendência de coloração intercaladas entre N6 e N7 até a profundidade de 1,97 m, onde começa uma nova sequencia de camadas intercaladas entre N6 e N4, respectivamente.

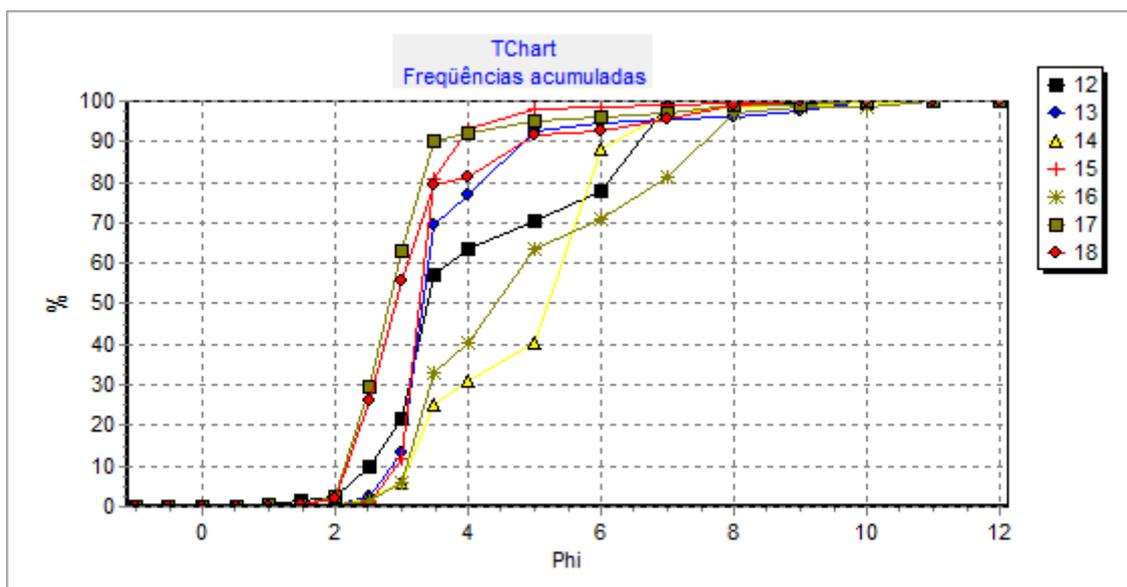
Quanto a curtose das amostras de 7 a 11, foram obtidos valores muito leptocúrticos, com exceção da amostra 8 que apresentou uma curtose leptocúrtica. A amostra 7 apresentou assimetria positiva, enquanto que as amostras 8 e 11 apresentaram assimetrias positivas. As amostras 9 e 10 por sua vez, apresentaram valores de assimetria muito negativa e aproximadamente simétrica, respectivamente.

Figura 21: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes à segunda parte da fácies arenosa.



### b) Fácies Arenosiltosa

Figura 22: Gráfico de frequência acumulada das amostras correspondentes a fácies arenosiltosa.



A partir da amostra 12 inicia-se uma fácies siltico-arenosa, representando um ambiente deposicional típico de margem de um paleo-canal soterrado pela fácies arenosa do topo do registro. Nesta fácies ocorre intercalações de silte grosso ( $4\Phi$ ) das amostras 12, 14 e 16 com areia muito fina ( $3\Phi$ ) das amostras 13, 15 e 18. A amostra 17 por sua vez, correspondente a profundidade de 2,60m, apresentou granulometria média de areia fina ( $2\Phi$ ) (figura 22). As amostras 12, 14, 16 e 18 foram classificadas como pobremente selecionadas, 13 e 17 moderadamente selecionados e a amostra 15, bem selecionada.

Os resultados de assimetria nesta fácies variam de positivas a muito positivas, com exceção da amostra 14, que foi obtido um valor muito negativo. Quanto à curtose, as amostras variaram de platicúrtica a muito leptocúrtica.

## 5. DISCUSSÃO

Geologicamente o golfo maranhense é constituído por rochas terciárias da formação Itapecuru; do Grupo Barreiras e apresenta a predominância de sedimentos Quaternários (depósitos marinhos e fluviomarinhos do Holoceno e do Pleistoceno), o que possibilitou uma expressiva formação de dunas e manguezais (MEDEIROS, 1988; RODRIGUES *et al.*, 1994). O Golfo está inserido na Bacia de São Luís, bacia originada a partir dos esforços tectônicos que resultaram na formação do Atlântico Equatorial, sendo classificada como uma bacia do tipo *Rift* (CARVALHO, 2001).

Numa disposição central a baía de São Marcos, inserindo-se a Ilha do Maranhão e Alcântara, afloram sedimentos que constituem parte do Membro Alcântara da Formação Itapecuru. Segundo RODRIGUES *et al.* (1994) este membro é composto de siltitos e folhelhos vermelhos, coesos, de estratificação plano paralela, disposta de forma tabular em camadas decimétricas, que intercalam alguns bancos lenticulares de calcário bege/creme esbranquiçados. Inicialmente, estes depósitos foram denominados provisoriamente de Formação Alcântara por CUNHA (1968), que individualizou esta unidade sedimentar sobreposta à Formação Itapecuru e sotoposta a Formação Barreiras. Ainda segundo o autor, devido às características litológicas, estratigráficas e à presença de calcário lenticular, esta unidade sedimentar se depositou em um ambiente lagunar próximo a costa, datadas do Cenomaniano. Posteriormente RODRIGUES *et al.* (1994) adotou o termo Membro Alcântara para designar estes depósitos que afloram na bacia de São Luís em áreas muito restritas, expostas no continente nas falésias de Alcântara e na falésia do antigo farol de Itacolomi (Alcântara – MA), e na Ilha do Maranhão são observados estes afloramentos nas falésias da Ponta do Farol, Panaquatira e Praia do Boqueirão.

A praia de Panaquatira é classificada como ultradissipativa (FRANCO, 2018), e quanto à maré, como uma praia de macro-maré, o que lhe confere uma zona de estirâncio de aproximadamente 1 km de extensão, favorecendo transporte eólico pela elevada exposição subárea nesta região da praia, fornecendo sedimento para o alongamento da barreira em sua parte terminal e a formação de dunas frontais e campos

de dunas no interior da barreira. Além do suprimento de sedimentos fornecidos para a barreira pelos rios Paciência e Santo Antônio, a presença de grandes falésias ativas da Formação Itapecuru também representa um grande aporte de sedimentos finos para praia, que em eventos de alta energia são erodidos, retrabalhados e depositados ao longo da linha de costa através da deriva litorânea (PEREIRA, 2018). O complexo estuarino do Golfão Maranhense também exerce grande influência na sedimentação das praias da ilha do Maranhão, sendo desaguadouro de rios caudalosos que fornecem grande parte do sedimento depositado nas praias oceânicas da Ilha do Maranhão (PEREIRA, 2018).

A erosão do litoral da Ilha do Maranhão é evidente não só em sua classificação em nível de barreira costeira, mas também na destruição de sua área urbanizada. A erosão marca as residências, falésias e dunas presentes na praia mascarando sua evolução de longo termo. Assim, de modo a complementar o entendimento destas regiões costeiras a estratigrafia supre as informações sobre os paleoambientes e sua evolução, facilitando o entendimento dos ambientes atuais (LIMA *et al.*, 2020). A estratigrafia nos permite caracterizar os sistemas deposicionais analisando as fácies sedimentares encontradas nos perfis estratigráficos, que representam momentos particulares em cada ciclo deposicional.

A granulometria da praia de Panaquatira é de areia muito fina (PEREIRA, 2018), resultado de um grande aporte sedimentar dos rios que desaguam na baía de São José e da erosão de sedimentos das falésias, que aliados ao transporte eólico atuante nos momentos de maré baixa, formam dunas e campos de duna ao longo da barreira. A deriva litorânea também contribui para o alongamento do esporão arenoso, retrabalhando e transportando os sedimentos erodidos das falésias e no pós-praia, até a região terminal da barreira, onde o transporte sedimentar limita-se pelo espigão hidráulico que atua na foz do rio Santo Antônio e rio Paciência, assemelhando-se ao que ALBUQUERQUE (2018) descreveu em seu trabalho na região terminal do esporão arenoso de macromaré da Praia da Ponta D'areia, onde a foz do rio Anil exerce efeitos semelhantes. Associado ao efeito de espigão hidráulico na barreira de Panaquatira ocorre a formação de deltas de maré, modificando a hidrodinâmica na foz do canal do rio Santo Antônio.

Segundo BIRD (1996) a presença de grãos de sedimentos mais finos em uma praia arenosa pode estar relacionada ao atrito entre os depósitos sedimentares e os agentes modificadores (ventos, onda, descarga fluvial, correntes e maré), aprofundando-

se na área de estudo podemos observar as interações entre os sedimentos da praia e os agentes modificadores com mais clareza na região de falésias da praia. Especialmente no setor 1 observa-se a presença de rochas lateríticas (figura 2) na zona de estirâncio, que foram desprendidos das falésias em eventos de alta energia (maré de sizígia) e retrabalhados e depositados na zona de estirâncio, concedendo à localidade características morfodinâmicas específicas (FRANCO, 2018). Além disso, na praia de Panaquatira a deposição de sedimentos finos provenientes do transporte fluvial ocorre devido a presença de grandes rios desaguando na baía, como o Rio Itapecuru, Munim, Peria, Paciência e Santo Antônio, sendo estes últimos os mais importantes para a praia de Panaquatira, pois desaguam diretamente na ponta do esporão arenoso, ocasionando o efeito de espigão hidráulico

A delimitação dos setores do esporão de Panaquatira nos possibilita entender a complexidade dos processos e ambientes inseridos na localidade, identificando as forçantes ambientais que dominam cada setor. Ao longo do setor 1 ocorre a predominância de falésias ativas e da intensa atividade erosiva desta feições; o setor 2 por sua vez, é caracterizado como uma ampla região de terraços de maré e cotas próximas ao NRM, possuindo sua dinâmica atrelada as variações de ciclo de maré na região que condicionam estes ambientes a períodos emersos e períodos alagados; Ao longo do setor 3 ocorre a formação de campos de dunas e a progradação lateral do esporão arenoso, limitados pela presença do canal do rio Santo Antônio. Ainda no setor 3 ocorre efeito de espigão hidráulico, ocasionado pelo rio Santo Antônio, ao qual é responsável por barrar o crescimento do esporão e pela formação dos deltas de maré neste setor.

A sondagem SP-1 recuperou duas fácies sedimentares individualizadas: a fácies mais basal denominada de fácies areno-siltosa que corresponde a ambientes de margem de canal/estuarinos e encontra-se sotoposta a fácies arenosa, que corresponde a ambientes praias. A sobreposição da fácies arenosa sobre a fácies areno-siltosa indica que os depósitos sedimentares do esporão avançam sobre os depósitos sedimentares de margem de canal/estuário num contexto clássico de esporões arenosos, evidenciando seu caráter progradacional. A fácies arenosa encontrada no topo do registro desta sondagem compreende a fácies mais recente na evolução do esporão, constituída por areia muito fina a fina, esta fácies representa os atuais ambientes eólicos e praias na região terminal do esporão, dominado pelo ciclo de maré, pela dinâmica estuarina da

foz do rio Santo Antônio e pela formação de deltas de maré na foz deste rio. A sobreposição das fácies Arenosa sobre a fácies areno-siltosa fica evidente em campo, na retaguarda da barreira, onde é possível observar os sedimentos praias/eólicos avançando sobre os sedimentos lamosos da margem do canal estuarino (Figura 23).

A deposição de minerais pesados de coloração escura (N2) na superfície da praia e na fácies arenosa do SP-1 indica eventos de alta energia no local, resultado de eventos erosivos ligados as maiores marés de sizígias e/ou eventos de tempestade, que ocasionam um retrabalhamento desta fácies, semelhante ao que ALBUQUERQUE (2018) observou nos registros sedimentares para o esporão da Ponta d'areia. A intercalação de lentes de lama com lentes de areia na base do registro pode ser explicada pela ação da maré, onde na preamar existem condições hidrodinâmicas ideais para a deposição de sedimentos mais finos, enquanto que a fácies arenosa presente no topo do registro tem sua origem relacionada ao transporte eólico e longitudinal de sedimentos.

**Figura 23: Sedimentos eólicos sobrepondo sedimentos de margem de canal na região terminal do esporão arenoso.**



O perfil da sondagem SPT-3 nos mostra com clareza uma divisão entre as fácies sedimentares mais basais de origem no Membro Alcântara e os depósitos litorâneos holocênicos no topo da sequência. A deposição de areia muito fina na superfície do terreno (topo da sondagem) se deu através do transporte eólico, uma vez que a sondagem foi realizada na retaguarda da duna frontal, que foi removida anteriormente para a construção de uma residência.

Os sedimentos recuperados de 0m – 5m de profundidade nesta sondagem evidenciam uma fácies areno-lamosa (figura 11), e apresentaram características semelhantes aos sedimentos holocênicos observados por ALBURQUERQUE (2018), como presença de conchas desarticuladas e fragmentos de concha, altos teores de M.O.(16 a 22%) e carbonato (22% na amostra 4); coloração escura (N3 a N5) do sedimento e sobreposição de areia no topo do registro sobre sedimentos lamosos, evidenciando ambientes de terraços de maré nesta fácies, tendo sua origem e presença na região provavelmente ligada ao recuo do NRM após o máximo transgressivo holocênico (BIONDO DA COSTA *et al*, 2019) ou mesmo o isolamento da retaguarda do esporão arenoso.

A fácies arenosa presente de 5 a 7 m de profundidade apresenta características de paleo-ambientes tipicamente praias em tempos pretéritos, evidenciados pela presença no nível 7 da sondagem, onde ocorre a presença de uma espécie de bolacha-da-praia que habita zonas próximas a arrebentação das ondas e ambientes de terraços marinhos evidenciados pelos níveis lateríticos cascalhosos encontrados nas amostras 5 e 7 figura 24.

Na profundidade de 7 m (0,3m acima do NRM) se observa o limite entre a fácies Arenosa de paleoambientes praias e a fácies Siltosa Arenosa composta por depósitos relacionados ao membro Alcântara. Neste nível a ocorrência em um fragmento de bolacha-da praia (*Mellita* sp.) evidenciou o momento em que o mar atingia o local da sondagem. A presença destes organismos em registros sedimentares evidencia o comportamento da linha de costa ao longo do tempo geológico, pois são animais que habitam zonas equivalentes aos limites da praia.

As bolachas-da-praia são animais bentônicos que possuem um corpo achatado, semelhante a uma bolacha, sua boca fica localizada na região voltada para o substrato para que se alimente de algas e pequenos organismos presentes no sedimento. Estes animais apresentam adaptações morfológicas descritas como adaptações hidrodinâmicas aos ambientes em que vivem como a sua forma cônico-achatada e a presença de lúnulas (BORZONE *et al.*, 1998). Populações destes animais ocupam em altas densidades a região do infralitoral, onde forma uma camada de vários indivíduos paralela à costa, próximo a zona de arrebentação das ondas. Estes organismos vivem na subsuperfície da areia entre 1 e 50 m de profundidade, povoando praias sob a ação de fortes correntezas (BORZONE, 1992). O corpo leve destes organismos sujeita-os a serem levantados e desalojados pelas correntes durante marés muito altas ou eventos de alta energia (DOS PASSOS *et al.*, 2015), onde morrem pela falta de umidade, permanecendo na areia da praia apenas sua carapaça calcária.

Um fragmento deste tipo de animal foi datado em 3360 +/- 30 anos AP e se trata de uma espécie de Bolacha-do-mar que habita a região do sublitoral, próximo a arrebentação das ondas de ambientes inconsolidados (DIAS, 2008), podendo indicar que à época o NRM encontrava-se no local da sondagem, evidenciando um paleo-ambiente tipicamente praias ancorado às falésias do setor 1 e a terraços de abrasão marinha formados pela ação erosiva das ondas nestas falésias. Por ter sido encontrada

em horizonte de transição entre os depósitos do Membro Alcântara e os depósitos litorâneos holocênicos mais recentes no registro da sondagem SPT-3, este animal pode indicar o período em que o esporão arenoso de Panaquatira iniciou seu desenvolvimento, ancorado às falésias de Panaquatira.

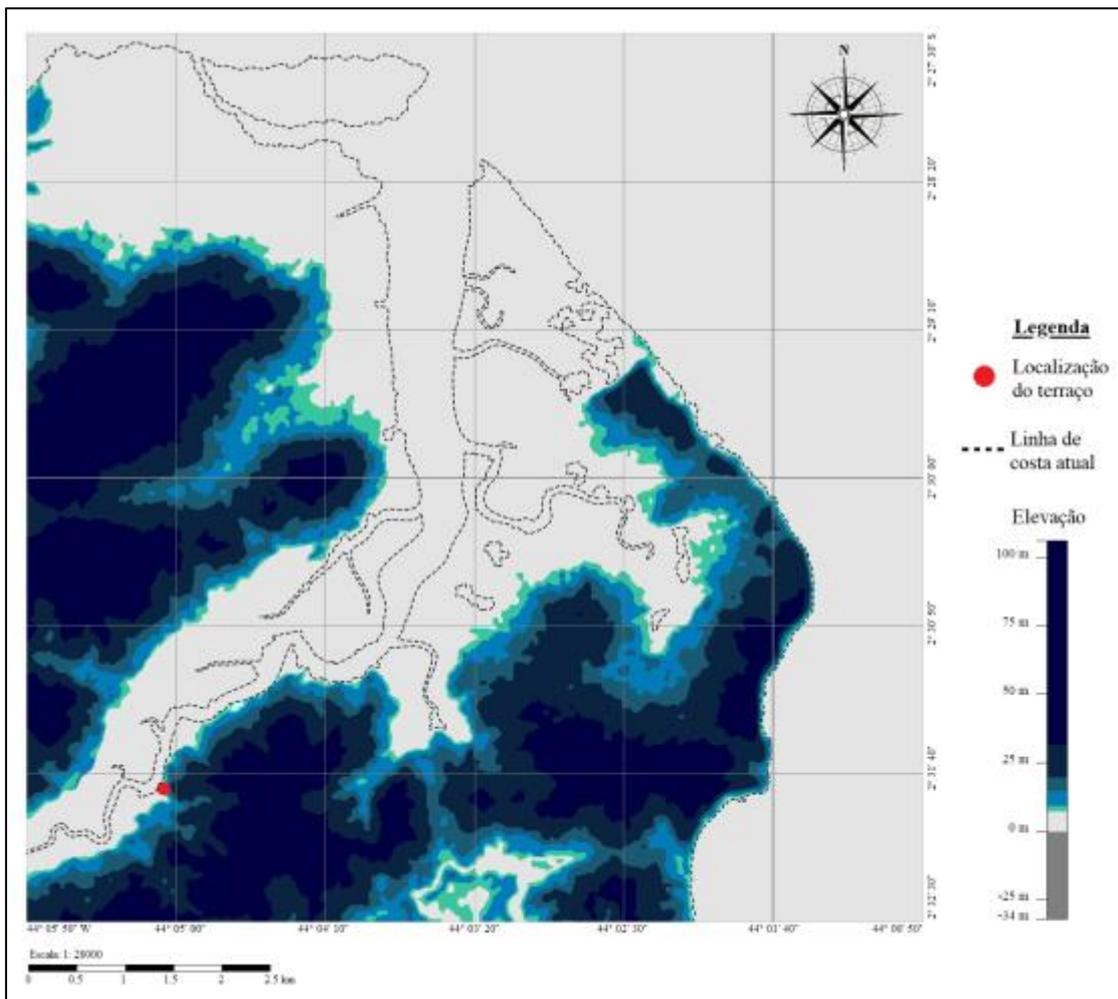
**Figura 24: Detalhes para o material laterítico e de fragmentos de concha no topo do nível 5.**



BIONDO DA COSTA *et al.* (2019) identificou que após o máximo transgressivo holocênico, com o nível do mar sobrelevado e conseqüentemente uma maior largura da foz do rio Santo Antônio, ocorreu a formação de terraços de abrasão marinha adjacentes aos terrenos altos da borda do canal do rio Santo Antônio, devido a intensa ação das ondas nas falésias de Panaquatira. Ao longo do nível 5 da sondagem SPT-3, esta feição fica evidenciada pela presença de níveis lateríticos cascalhosos e materiais oxidados, provavelmente desprendidos das falésias pela ação das ondas e depositados nestes terraços, e pela presença de fragmentos de conchas na mesma profundidade, provavelmente depositados após o retrabalhamento na zona de estirâncio deste paleoambiente.

O recuo de 1,4 m do NRM na localidade após o máximo transgressivo holocênico foi o responsável pela formação do esporão arenoso devido à ampliação da foz do rio Santo Antônio (BIONDO DA COSTA *et al.*, 2019), que eventualmente passou a aportar mais sedimentos para as bordas do canal aliado a atividade erosiva do mar nos terrenos altos (figura 25) formando barras arenosas que modificaram as características hidrodinâmicas de sua foz, semelhante ao que ocorreu na foz do Rio Anil (LIMA *et al.*, 2020)

**Figura 25: Reconstituição da planície areno-lamosa formada no Holoceno no estuário do Rio Santo Antônio (retirado de BIONDO DA COSTA *et al.*, 2019).**



A fácies siltosa-arenosa encontrada de 7 a 8,6 m de profundidade possui características litológicas e estruturais semelhantes aos depósitos sedimentares originados do Membro Alcântara da Formação Itapecuru, com a presença de sedimentos finos (silte médio a silte fino) de coloração variegada, intercaladas por lentes de calcário bege.

A Formação Itapecuru é caracterizada pela presença de arenitos finos, siltitos e folhelhos, sendo subdivida por RODRIGUES *et al.* (1994) em Membro Inferior Psamítico e Membro Superior Alcântara. Segundo SILVA (2012) o membro Alcântara é constituído por siltitos e folhelhos vermelhos, coesos, de laminação plano-paralela, com intercalações de bancos tabulares à lenticulares de calcários creme-esbranquiçados, apresentando grande semelhança com os depósitos descritos na fácies siltosa-arenosa do testemunho SPT-3. As rochas deste membro registram o último evento do Cretácio Superior na plataforma, tendo sua idade definida (entre 99 a 65 M.A antes do presente ). Através de datações relativas em amostras de pólen dos folhelhos. (RODRIGUES *et al.*, 1994).

RODRIGUES *et al* (1994) definiram as unidades de fácies e litofácies do Membro Alcântara em duas unidades de fácies, uma pelítica, apresentando duas litofácies, a mais basal síltico arenosa, denominada Pelitos de estratificação plano-paralela (Ppp) e uma no topo essencialmente argilosa denominada de Siltitos arenosos avermelhados (Psa). A segunda unidade de fácies definida possui uma natureza carbonática apresentando duas litofácies: Calcilito micrítico (Ccm) e Argilito creme (Cag).

A litofácies Psa é composta por silito vermelho com partes manchadas na cor ocre e esbranquiçados, contendo intercalações de arenito fino a muito fino esbranquiçados e acinzentados (RODRIGUES *et al.*, 1994). A litofácies Ppp compreende pelitos vermelhos com intercalações acinzentadas de arenito fino a muito fino, apresentando secundariamente a coloração vermelha devido aos processos de laterização que ocorreram no membro Alcântara (RODRIGUES *et al*, 1994).

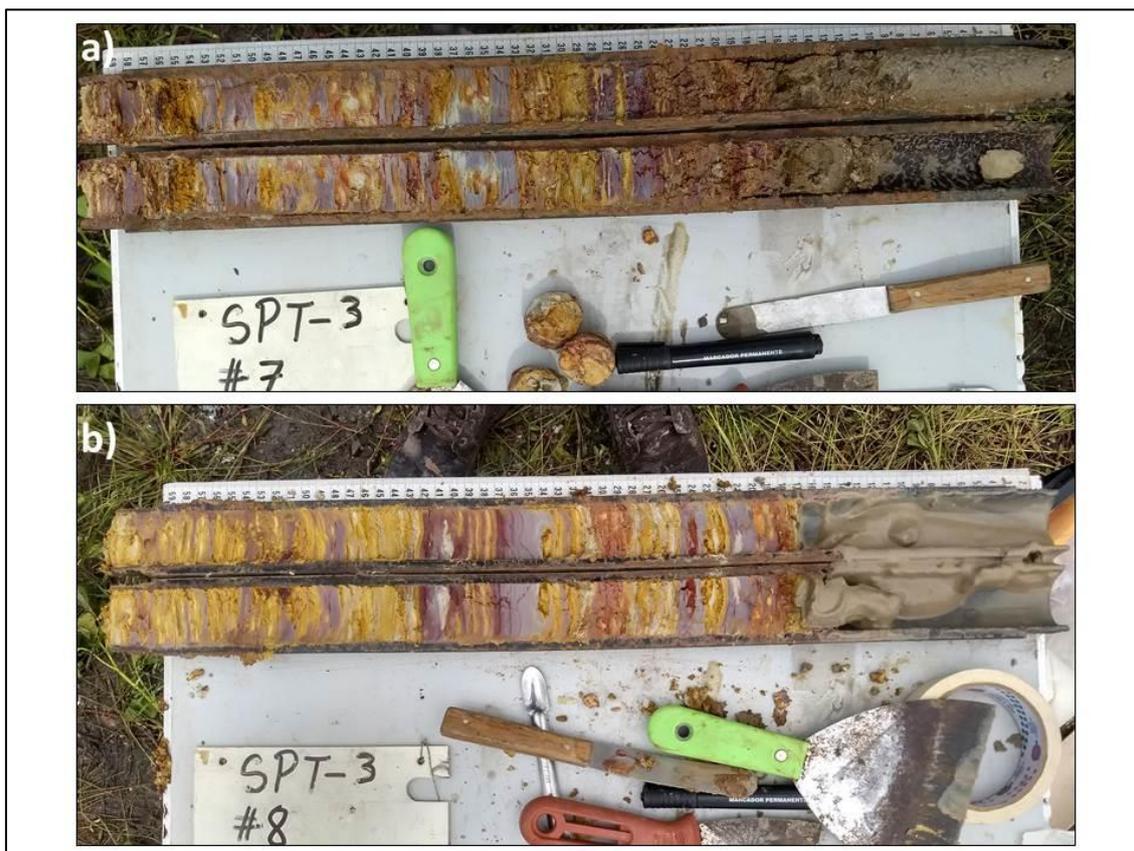
O ambiente de sedimentação descrito por RODRIGUES *et al.* (1994) para os depósitos sedimentares correspondentes ao Membro Alcântara, são de ambientes de baía/laguna protegida, instalada em plataforma continental rasa para a litofácies de siltitos arenosos vermelhos; e em condições de águas relativamente mais profundas possivelmente ligadas a subida do NRM, foram depositados os sedimentos da litofácies de pelitos de estratificação plano-paralela, de coloração avermelhada com intercalações de arenito muito fino de cor acinzentada. Os bancos carbonáticos da litofácies Calcilito micrítico (Ccm) correspondem a um ambiente de plataforma continental rasa sem exposição à ação das ondas, depositados em períodos de baixo suprimento

sedimentar continental em um ambiente lagunar ou de baía protegida em condições de baixa energia. Enquanto que a litofácies de Argilito creme (Cag) representa o registro de eventos de maior contribuição sedimentar continental para a plataforma rasa, possibilitando então a decantação de sedimento muito fino.

O conteúdo fóssilífero do Membro Alcântara é composto em maior parte por peixes, dinossauros e crocodilomorfos (MEDEIROS, 2001; MEDEIROS E SCHULT, 2001), coletados majoritariamente na Laje do Coringa, local que reúne um variado conjunto de fósseis documentando registros do Neo-Albiano Eo-Cenomaniano.

O registro observado nos níveis 7 e 8 da sondagem SPT-3 (Figura 26), assemelharam-se em termos de litofácies e granulometria aos depósitos sedimentares descritos por RODRIGUES *et al.* (1994) como Membro Alcântara, principalmente pela presença de lentes de calcário bege, siltitos amarelados e folhelhos vermelhos no topo do nível 7, evidenciando a presença desta unidade na região de Panaquatira e testemunhando o período imediatamente anterior à formação do esporão arenoso.

Figura 26: Registros sedimentares dos níveis 7 (a) e 8(b) da sondagem SPT-3.



Os depósitos sedimentares deste membro correspondem a paleo-ambientes de baía/laguna protegida, instalada em plataforma continental rasa para a litofácies “Psa”; e em condições de águas relativamente mais profundas possivelmente ligadas a subida do NRM (BIONDO DA COSTA *et al.*, (2019), foram depositados os sedimentos da litofácies “Ppp”.

Os estudos sobre a variação do NRM no Brasil iniciaram-se na década de 1960, quando VAN ANDEL & LABOREL (1964) e DELIBRIAS & LABOREL (1969) publicaram os primeiros estudos que deram origem as primeiras curvas de variação do nível do mar durante o Holoceno para o Brasil através de datações de radiocarbono. SUGUIO *et al.* (1985) foram os primeiros autores a propor curvas bem embasadas para a variação do nível do mar durante o Holoceno ao longo da costa brasileira, sendo a Curva de Salvador a mais utilizada em trabalhos para o Nordeste, onde indica que o nível do mar começou a subir acima do nível atual há aproximadamente 7000 Anos (A.P.), atingindo em 5.600 anos A.P o seu máximo transgressivo, posicionando a linha costa 5m acima do NRM atual, seguida por uma tendência de descida até o nível atual (MARTIN *et al.*, 2003). O NRM apresentou diversas variações durante o Quaternário,

foi no Pleistoceno (18 mil anos A.P.) que a linha de costa regrediu em direção à quebra da plataforma continental, deixando os ambientes que ora eram submersos, emersos e suscetíveis a erosão e intemperismo. Segundo BIONDO DA COSTA *et al* (2019) a exposição desses ambientes aos processos erosivos associados à regressão marinha, possibilitaram o surgimento de um vale inciso escavando os sedimentos da Formação Itapecuru, onde atualmente se localiza o Rio Santo Antônio e a barreira costeira de Panaquatira.

De acordo com Rossetti (2021), os ambientes costeiros representam importantes “laboratórios naturais” que nos fornecem informações sobre às variações do NRM em tempos pretéritos, no qual os registros destas oscilações ficaram preservados nas seções estratigráficas dos ambientes costeiros atuais. Portanto, entender o surgimento e a evolução destes ambientes no tempo geológico permite reconstituir as curvas de variação do NRM, e entender os fatores que influenciaram suas mudanças através do tempo geológico.

Durante o Holoceno, o Nível Relativo do Mar entrou em tendência de subida, atingindo seu máximo transgressivo em aproximadamente 5 metros acima do nível do mar atual, há 5.600 anos A.P. (MEDEANIC & CORRÊA, 2010), afogando os ambientes costeiros e expondo as falésias da Formação Itapecuru à ação das ondas, esculpindo os terraços de abrasão marinha evidenciados pela fácies arenosa da sondagem SPT-3. Após o máximo transgressivo, o NRM iniciou uma tendência de queda, recuando a linha de costa até a configuração moderna, expondo na região de Panaquatira, terraços de maré (fácies areno-lamosa) com condições ideais para o desenvolvimento do ecossistema manguezal ainda observado atualmente ao longo de grande parte do Setor 2 (BIONDO DA COSTA *et al.*, 2019)

É possível afirmar que a Barreira Costeira de Panaquatira tem seu desenvolvimento atrelado à regressão marinha ocorrida após o máximo transgressivo do Holoceno, quando houve uma ampliação da foz do Rio Santo Antônio, e consequentemente um maior aporte sedimentar de origem fluvial, favorecendo o alongamento da barreira costeira.

## 6. CONCLUSÃO

Diante de tal estudo, a compreensão acerca dos processos geológicos ocorridos na região de Panaquatira se torna mais completa. Este trabalho conclui que o esporão

arenoso da praia de Panaquatira iniciou seu desenvolvimento há aproximadamente 3360 +/- 30 anos AP, quando iniciou o seu processo de progradação lateral ancorado às falésias do setor 1, associado à erosão na linha de costa e ao transporte de sedimentos via deriva litorânea, tendo seu alongamento barrado pelo efeito de espigão hidráulico ocasionado pelo rio Santo Antônio.

O efeito de espigão hidráulico ocasionado pelo rio Santo Antônio provavelmente é o responsável por manter constantes as dimensões da barreira costeira, formando também bancos arenosos em sua foz.

A sobreposição de fácies arenosas de ambientes praias sobre fácies arenolamosas de margem de canal ou terraços de maré, recuperadas pela sondagem SP-1 e a presença de campos de dunas no interior da barreira evidenciam o caráter progradacional do esporão arenoso. A fácies siltico-arenosa da sondagem SPT-3 indica a presença do Membro Alcântara na região de Panaquatira, onde no registro recuperado nesta sondagem os depósitos deste membro testemunham o período anterior ao surgimento do esporão arenoso. O ambiente deposicional relacionado a esta fácies corresponde a paleo-ambientes de baía/laguna protegida, localizadas na plataforma continental rasa, ao qual favoreceu a deposição de sedimentos finos nestes paleo-ambientes.

A fácies arenosa, imediatamente superior aos sedimentos do membro Alcântara, correspondem a ambientes praias (evidenciados por fragmentos de *Mellita sp.*) e de terraços de abrasão marinha, ligados ao recuo do NRM após o máximo transgressivo holocênico.

Os ambientes praias desta fácies encontravam-se provavelmente na base das paleo-falésias, onde se observou também a existência de terraços de abrasão marinha, como resultado da ação erosiva das ondas nestas falésias, fornecendo materiais cascalhosos e lateríticos para a praiasemelhante ao observado atualmente na falésias do setor 1. Este material laterítico cascalhoso foi observado no registro SPT-3, tornando possível a identificação destes paleo-ambientes. Os ambientes de terraço de maré são observados no presente e no registro sedimentar da sondagem SPT-3. A formação destes ambientes foi viabilizada pelo recuo do NRM após o máximo transgressivo, que expôs planícies costeiras a características ambientais favoráveis ao desenvolvimento do ecossistema manguezal.

Diante deste estudo, a praia de Panaquatira pode ser definida como uma Barreiras de Esporões Arenosos (*Headland Spit Barrier*) devido á sua origem ancorada ás falésias da Formação Itapecuru no setor 1.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, S. S. **Estratigrafia e Evolução do Esporão Arenoso da Ponta da Areia, São Luís – MA.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. 116p. 2018.
- ANDRIGETTO FILHO, J. M. **Das “dinamicas naturais” aos “usos e conflitos”: uma reflexão sobre a evolução epistemológica da linha do “costeiro”.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 10, p. 187-192. 2004.
- ARAI, M. **A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras.** Geologia USP. Série Científica, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.
- BEAUMONT, L. DE.. **Leçons de Géologie pratique. Septième leçon.** Bertrand Paris, pp. 221-252. . 1885.
- BIGARELLA, J. J. **Structures developed by dissipation of dune and beach ridge deposits.** Catena, v. 2, p. 107-152, 1975.
- BITTENCOURT. A.C.S.P., DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN. L. e FERREIRA, Y.A. **Dados preliminares sobre a evolução do delta do rio São Francisco (SE;AL) durante o Quaternario: influência das variações do nível do mar.** In: K. Suguio et al. (eds.), Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil, 1982, Rio de Janeiro: 49-68. 1982.
- BITTENCOURT. A.C.S.P., MARTIN, L., DOMINGUEZ, J.M.L. e FERREIRA, Y.A. - - **Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas.** Rev. Bras. Geoc. 13(2) 1983.
- BIRD. E. C. F. **Beach Management.** John Wiley & Sons Ltd. 1996.
- BORGES, Paulo; LAMEIRAS, Goreti; CALADO, Helena. **A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade.** In: 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, Cabo Verde. 2009.
- BORZONE, C.A. **Spatial distribution and growth of Mellita quinquesperforata Leske, 1778 on a sandy beach of southern Brazil.** Nerítica: Curitiba, v. 7, p.87-100, 1992. BORZONE, C.A.; TAVARES, Y.A.G. BARROS JR., F. C. R. **Beach morphodynamics and distribution of Mellita quinquesperforata (Leske, 1778) on sandy beaches of southern Brazil.** In: R. Mooi e M. Telford (Eds). Proceedings of the 9th International Conference of Echinoderms, Balkema: Rotterdam, p. 581-586, 1998. CARVALHO, I. S. **Pegadas de Dinossauros em depósitos estuarinos (Cenomaniano) da Bacia de São Luís (MA), Brasil.** In: ROSSETTI, D. F.; GÔES,

- A. M.; TRUCKENBRODT (Editores). **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, 2001.
- CHARLIER, R.H., Meyer, C.P.D., **Coastal erosion, response and management**. Springer, Berlin, 343 pp. 1998.
- CUNHA, F. M. B. **Fotointerpretação da bacia de São Luís, Maranhão**. Belém: PETROBRÁS. 1 v. (Relatório Interno RENOR, 318/68). 1968.
- BIONDO DA COSTA, A. L. LIMA, L. G., KLOSE PARISE, C., SANTOS J. H. S., DOS SANTOS, A. L. S. CARVALHO NETO, F. C. **RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DO QUATERNÁRIO NO ESTUÁRIO DO RIO SANTO ANTÔNIO, ILHA DO MARANHÃO–BRASIL**. *Geociências* (São Paulo), v. 38, n. 1, p. 117-130, 2019.
- DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge University Press, 442p. ISBN: 978-05-521-87445-8. 2010.
- DAVIS Jr., R.A. & HAYES, M.O., **What is a wave dominated coast? Marine Geology**, 60, 313-329. 1984.
- DEAN, W.E. **Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods**. *Journal of Sedimentary Petrology* 44:242-248. 1974.
- DELIBRIAS, C., LABOREL, J. **Recent variations of the sea level along the Brazilian coast**. *Quaternaria* 14, 45–49. 1969.
- DIAS, I. C. C. M. **Biologia populacional de Mellita quinquiesperforata Leske (1778)(ECHINODERMATA: CLYPEASTEROIDA: MELLITIDAE) na praia da Taíba, Ceará, Brasil**. 2008.
- DILLENBURG, S. R.; HESP, P. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers**. Heidelberg: Springer Verlag, v. 107, 380p. 2009.
- DILLENBURG S.R., ROY P.S., COWELL P.J., TOMAZELLI L.J. **Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by shoreface translation-barrier model (STM)**. *J Coast Res* 16(1): 71-81. 2000.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Tábua das Marés para São Luís - MA**. 2021. Disponível em: <<http://www.dhn.mar.mil.br>>
- FEITOSA, A. C. **Relevo do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA; REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY.

p. 1-11. 2006.

DOS PASSOS, T. A. F.; DE SOUZA GADELHA, E.; FERREIRA, M. R. **RELAÇÕES MORFOMÉTRICA DE *Mellita quinquesperforata* (LESKE, 1778) NA PRAIA DE AJURUTEUA, LITORAL NORTE DO BRASIL, AMAZÔNIA ORIENTAL.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca. nº 19. São Luís. Resumo. São Luís: 2015. p. 1482 -1486.

FRANCO, B.J.. **Caracterização morfodinâmica das praias oceânicas da Ilha do Maranhão.** Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, Trabalho de Conclusão de Curso. 58p. 2018.

FOLK RL, WARD WC. **Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Petrology 27: 3–26. 1957.

GERALD, DM Fitz; BUYNEVICH, I.; ARGOW, B. **Model of tidal inlet and barrier island dynamics in a regime of accelerated sea level rise.** Journal of Coastal Research, p. 789-795, 2006.

GILBERT, G.K., **The topographic features of Lake Shores.** In: Schwartz, M.L. (Ed.), 1973. Barrier Islands, Benchmark Papers in Geology. Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA, vol. 9, pp. 45–46. 1985.

GEI, Grupo Executivo Interministerial para a implantação do Plano Brasileiro para a Prevenção de uma Pandemia de Influenza. Plano de Prevenção à Influenza Aviária em Aves Silvestres e de subsistência. MAPA, 2005. Disponível em <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Aniamal/programa%20nacional%20sanida%20avicola/procedimentos%20para%20atendimento.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/programa%20nacional%20sanida%20avicola/procedimentos%20para%20atendimento.pdf)>

HOYT, J.H., **Barrier island formation.** Geological Society of America Bulletin 79, 1125–1136. 1967.

LIMA, L. G. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Geociências. 78p. 2008.

LIMA, L. G. et al. **Estratigrafia e evolução de um esporão arenoso em ambiente macromaré: Ponta da areia-são luís-maranhão-brasil.** Geosciences= Geociências, v. 39, n. 04, p. 997-1008, 2020.

MABESOONE, J. M.; SILVA, A. C. E.; BEURLIN, K. **Estratigrafia e e origem do grupo barreiras em Pernambuco, Paraíba E Rio Grande Do Norte.** Revista Brasileira de Geociências, v. 2, 1972.

- MARTIN, L., DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., **Fluctuating Holocene sea-levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators.** J. Coast. Res. 19 (1), 101–124. 2003.
- MCGEE, W.J., **Encroachments of the sea.** In: Schwartz, M.L. (Ed.), 1973. Barrier Islands, Benchmark Papers in Geology. Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA, 9, pp. 49–61. 1890.
- MEDEANIC, S.; CORRÊA, I. C. S. **Climatic changes in the coastal plain of the Rio Grande do Sul state in the Holocene: palynomorph evidences.** Pan-American Journal of Aquatic Sciences, v. 5, n. 2, p. 287-297, 2010.
- MEDEIROS, T.C.C. **Contribuição ao estudo a fisiografia de mesolitoral do Golfão Maranhense.** Boletim LaboHidro 8(1): 81-96. 1988.
- MEDEIROS, M. A. **A Laje do Coringa (Ilha do Cajual, Bacia de São Luís, baía de São Marcos, MA): conteúdo fossilífero, bioestratinomia, diagênese e implicações na paleobiogeografia do Mesocretáceo do nordeste brasileiro.** Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 137 p. 2001.
- MEDEIROS, M.A. & SCHULTZ, C.L. **Uma paleocomunidade de vertebrados do Cretáceo Médio, Bacia de São Luís.** In: D.F. Rossetti; A.M. Góes, & W. Truckenbrodt (eds.) O Cretáceo na Bacia de São Luís – Grajaú, MPGE, p. 209-221. 2001.
- MORAIS, J. O. **Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras.** Revista de Geologia da UFC, Fortaleza-CE, v.9, p 191-242. 1996.
- MUNSELL COLOR COMPANY I. **Geological Rock-color charts.** Baltimore, Maryland. 2009.
- NUNES, F. C.; DA SILVA, E. F.; VILAS-BOAS, G. da S. **Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo.** Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2011.
- OTVOS, E. G. **Coastal barriers – Nomenclature, processes and classification issues.** Geomorphology, n.139-140, p.39-52. 2012.
- PARK, D., WRIGHT, J.; COLLING, A. (Edits). **Waves, Tides and Shallow-Water Processes.** Open University Oceanography Course Team; Butterworth-Heinemann; 2nd edition, 227 p. 1999.
- REIMER, P. J. et al. **IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP.** radiocarbon, v. 55, n. 4, p. 1869-1887, 2013.

RODRIGUES, T. L. N.; ARAÚJO, C.C.; CAMAZZATO, E.; RAMGRAB, G.E. (Orgs.). **São Luís, Folha SA23-2-A, Cururupu, Folha SA-23-X-C, escala 1: 1.000.000.** Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 185 p. 1994.

ROSSETTI, D.; ROCCA, R.; TATUMI, S. **Evolução dos Sedimentos Pós-Barreiras na zona costeira da Bacia São Luís, Maranhão, Brasil.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais, v. 8, n. 1, p. 11-25, 5 mar. 2021.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão.** 248 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.

SUGUIO, K.; PETRI, S. **Stratigraphy of the Iguapé-Cananéia lagoonal region sedimentary deposits, São Paulo State, Brazil: part I: field observations and grain size analysis.** *Boletim IG*, v. 4, p. 01-20, 1973.

SUGUIO, K., MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P., DOMINGUEZ, J.M.L., FLEXOR, J.M., AZEVEDO, A.E.G., **Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral Brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira.** *Rev. Bras. Geociênc.* 15, 273–286 1985.

TRAVESSAS, F. A.; DILLENBURG, S. R.; CLEROT, L. C. P. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira.** *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 57.

VAN ANDEL, T.H., LABOREL, J., 1964. **Recent high relative sea level stand near Recife, Brazil.** *Science* 145, 580–581. 2005.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. **The Barreiras Group in the northeastern coast of the State of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and processes.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 73, n. 3, p. 417-427, 2001.

VILES, H. & SPENCER, T. **Coastal Problems: Geomorphology, Ecology and Society at The Coast.** Hodder Arnold Publ., 36p. London, UK. Arnold. (ISBN-13: 978-0340531976). 1995.

VITOUSEK, P., MOONEY, H., LUBCHENCO, J. & MELILLO, J. **Human Domination of Earth's ecosystems.** *Science*, 277 (5325):494-499. (DOI: 10.1126/science.277.5325.494). 1997.

WETZEL, R.G. **Limnology.** W.B. Saunders Company, Philadelphia, London and Toronto. Xii. *Limnology*. 743 p. 1975.

WILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; BACHI, F.A. & DEHNHARDT B.A. **Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province.** In: Rabassa, J. (ed.). Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A. Balkema, Rotterdam. 4: 79-97. 1986.

WRIGHT, L.D.; NIELSEN, P. SHORT, A.D. & GREEN, M.O., **Morphodynamics of A Macrotidal Beach.** Marine Geology. 50: 97-128. 1982.

WRIGHT, L.D & SHORT, A.D. **Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beachs: a synthesis.** Mar. Geol., 56(1-4):93-118. 1984.