



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Caracterização Sedimentar das Praias Arenosas da Ilha do Maranhão

Leonardo Gonçalves de Lima¹, Daniel de Matos Pereira², Claudia Klose Parise³, Brunno Jansen Franco⁴

¹Professor Adjunto; Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão; lima.leonardo@ufma.br ²Aluno do Curso de Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão; danieldematospereira@hotmail.com ³Professora Adjunta Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão. claudiakparise@gmail.com ⁴Aluno do Curso de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro; brunno_jfranco@hotmail.com

Artigo recebido em 25/08/2023 e aceito em 06/03/2024

RESUMO

As praias arenosas da Ilha do Maranhão localizam-se em ambiente macromaré, confinadas entre falésias e desembocaduras fluviais. A morfodinâmica dessas praias varia em função do regime de precipitações da região, com periodicidade semi-anual tendo a ZCIT como principal sistema meteorológico. O objetivo deste estudo foi caracterizar os sedimentos do mesolitoral das praias arenosas oceânicas (Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho D'Água, Meio, Araçagy e Mangue Seco e Carimã) e abrigadas (Guia e Panaquatira) da Ilha do Maranhão. Para tal, coletou-se 125 amostras que foram submetidas a análises granulométricas. As análises levaram em consideração o diâmetro médio do grão (Φ), o selecionamento (σ_1), a assimetria (SK_1) e curtose (KG). Os sedimentos praias foram predominantemente do tamanho areia fina e muito fina, variando de bem a moderadamente selecionados, com assimetrias e angulosidade variadas, refletindo as dinâmicas de interações inerentes de cada compartimento praias, na dependência da orientação da linha de costa, suprimento sedimentar e da geologia antecedente. O morfotipo de barreira costeira, na qual encontram-se as praias arenosas da Ilha do Maranhão, exerce controle morfodinâmico, apontando setores com características erosivas em barreiras de praias anexadas, enquanto e as barreiras de esporões arenosos ligadas a cabeços de promontórios indicam características deposicionais.

Palavras-chave: Sedimentologia, granulometria, praias, dinâmica sedimentar.

Sedimentary Characterization of the Sandy Beaches of Maranhão Island

Abstract

The Island of Maranhão sandy beaches are found in a macrotidal environment, confined between cliffs and river mouths. The morphodynamics of these beaches varies depending on the precipitation regime in the region, with semi-annual periodicity, with the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) as the main meteorological system. The objective of this study was to characterize the sediments of the mesolitoral of the oceanic sandy beaches (Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho D'Água, Meio, Araçagy and Mangue Seco and Carimã) and sheltered (Guia and Panaquatira) of the Island of Maranhão. Thus, 125 samples were collected and submitted to granulometric analysis. These analyzes took into account the mean grain diameter (Φ), sorting (σ_1), asymmetry (SKI) and kurtosis (KG). The beach sediments were classified as predominantly fine and very fine sand, varying from well to moderately selected, with varied asymmetries and angles, reflecting the dynamics of interactions inherent in each beach compartment, depending on the orientation of the shoreline, sediment supply and the antecedent geology. The coastal barrier morphotype, in which the sandy beaches of the Island of Maranhão are located, exerts morphodynamic control, pointing out sectors with erosion characteristics in barriers of attached beaches, while the barriers of sandy spurs connected to headlands indicate depositional characteristics.

Keywords: Sedimentology, granulometry, beaches, sedimentary dynamics

Introdução

A zona costeira, por conta da relação entre bacias de drenagem e águas marinhas costeiras, trata-se de uma área muito rica em elementos naturais (Clark, 1996), apresentando variação espacial e temporal, na dependência do tipo de costa em que se inserem (Wright & Short, 1983; 1984).

Costas podem ser classificadas como regressivas ou transgressivas (Davis e Fitzgerald, 2004). As regressivas são formadas por cordões litorâneos (*beach-ridges* e *foredune ridges*), provenientes da deposição de sedimentos eólicos ou que foram retrabalhados pela ação de ondas, ao passo que, transgressivas se manifestam pela presença de campos de dunas transgressivas associados à erosão da linha de costa e da face litorânea (Carter, 1986). Em ambos os tipos de costas, pode ocorrer a formação de esporões arenosos (*spits*), estabilizados em bancos arenosos na antepraia, desembocaduras fluviais e canais de maré (Reinson, 1992). A morfologia dos litorais é modificada pela interação de agentes como ondas, marés, correntes, rios, ventos e sedimentos (Short, 1999; Bird, 2008). Portanto, para um completo entendimento dos ambientes costeiros é necessário delimitar as escalas dos agentes modificadores, na dependência do tipo de litoral e suas forçantes.

O sistema praial, em função do elevado retrabalhamento de seus sedimentos, é considerado um dos ambientes mais dinâmicos existentes (Brown & McLachlan, 1990). Segundo Wright *et al.* (1982), a morfologia das praias depende das características dos sedimentos e das condições hidrodinâmicas imediatas (atuais e instantâneas) e antecedentes. Outros elementos também corroboram esta ideia, como a interação entre o regime energético (ação de ondas e marés), tectônica local, suprimento sedimentar e geologia antecedente (Davis & Hayes 1984). Este último elemento, a geologia antecedente, também estabelece a orientação da costa em relação aos ventos e ondas prevalecentes, que por meio de variações locais herdadas de vales e interflúvios criam reentrâncias e promontórios ou projeções costeiras (Belknap & Kraft, 1985). Devido aos efeitos combinados da refração e convergência de raios de onda, as costas salientes (ou com projeções costeiras) são geralmente sujeitas à erosão, enquanto as costas reentrantes sofrem deposição (May & Tanner, 1973).

As diferentes configurações de grãos disponíveis em faces praiais apresentam complexa variabilidade dimensional. Isto pode promover, em

um ambiente natural, a presença de material sedimentar com vários tamanhos de grãos. Compreender a relação entre a presença e dimensões desses grãos em ambientes praiais pode trazer informações sobre sua origem e transporte (agente transportador – ação eólica, hidrodinâmica, tectonismo, etc.) fomentando as características sedimentares destas regiões. Uma das maneiras eficazes de compreender tais proposições é através de análises granulométricas.

Granulometria é o nome dado ao conjunto de métodos que classifica padroniza, e estima os tamanhos de grãos possibilitando comparações a partir de suas propriedades físicas. Os parâmetros de tais análises são baseados no diâmetro, peso, volume, área e velocidade de decantação da partícula que variam conforme o ambiente estudado.

Os padrões de distribuição sedimentares de um sistema praial merecem destaque especial, pois refletem de forma direta a dinâmica dos processos costeiros atuantes (Suguio *et al.*, 2005; Fenster *et al.*, 2016). Além disso, fornecem subsídios para identificar as áreas-fontes (tais como rios, costões rochosos, plataforma e dunas), bem como a deposição desse material, de modo a dimensionar e quantificar os estoques sedimentares praiais (Alsharhan & El-Sammak, 2004); realizar caracterizações sedimentológicas (Figueiredo & Calliari, 2006); avaliar as variações espaciais dos fluxos de sedimentos e as taxas de transporte sob várias condições hidrodinâmicas (Figueiredo *et al.*, 2007). O conceito de balanço sedimentar corrobora com a compreensão, comportamento e direção do transporte de sedimentos em regiões de interesse, por exemplo, nos setores praiais (Rosati, 2005), tornando-se, uma valiosa ferramenta para investigação de mudanças na linha de costa (Masselink & Hughes, 2003 Kuai *et al.*, 2023). Segundo Dillenburg *et al.* (2000), Bezerra *et al.* (2003), Tucker (2003) e Dillenburg & Hesp (2009), outro importante aspecto no conceito de balanço sedimentar acontece através dos processos de progradação (onde há deposição e consequentemente ampliação da linha de costa) ou retrogradação (onde há remoção de sedimentos e por consequência o recuo da linha de costa).

A costa maranhense apresenta feições geomorfológicas características de costa dominada por macromarés, interagindo com estuários, deltas, planícies de maré, ilhas barreiras, praias, entre outras formações (Souza Filho, 1995). Os agentes físicos que atuaram durante a Transgressão Marinha Pós-Glacial (TMP) ampliaram ou

minimizaram a exposição e orientação da linha de costa em resposta a diferentes compartimentos deposicionais que se instalaram ao longo da Ilha do Maranhão. Os sistemas praias adjacentes destacam-se por antepraias (*shoreface*) submetidas ao controle geológico manifestado pela erosão costeira atuante nas falésias da Ilha. A maior resistência à erosão destas falésias condiciona uma projeção da linha de costa, induzindo a processos de refração diferenciada de ondas removem os sedimentos da face praial. Além disso, este mesmo processo condiciona afloramentos de rochas lateríticas que modificam os perfis praias do litoral através de processos de erosão e/ou acreção (Hoefel, 1998; Calliari & Klein, 1993; Calliari et al., 2003; Lima et al., 2020).

Segundo Lima et al. (2020), as praias oceânicas da Ilha do Maranhão integram sistemas de barreiras arenosas costeiras que podem ser divididas em dois morfotipos principais: barreiras de praias anexadas (*mainland beach barrier*), que se caracterizam por ter uma topografia antecedente (falésias da Formação Itapecuru, Albiano da Bacia do Parnaíba) de gradiente íngreme, onde ocorre a perda contínua de areia na costa erodida (e.g. Roy et al., 1994); e as barreiras de esporões arenosos ligadas a cabeços de promontórios (*headland spit barrier*), que se caracterizam por um sistema laguna-barreira ancorado em afloramentos (falésias) da Formação Itapecuru (Branner, 1902; Campbell, 1949; Bigarella, 1975). Este último morfotipo desenvolve-se onde existe brusca variação de orientação da linha de costa, geralmente onde a topografia antecedente é mais resistente a erosão marinha. Ali ancora-se uma barreira arenosa do tipo esporão, suprida de um amplo transporte de sedimentos via deriva litorânea, interrompido somente pelo efeito espigão hidráulico, em virtude de elevados prismas de maré nas desembocaduras fluviais.

O regime de marés semidiurnas no litoral central do estado do Maranhão, onde se localiza o Golfão Maranhense, é caracterizado como hiper-marés (Davies, 1964), com alturas de 6,2 m (Czizewski et al., 2020), podendo chegar a 7 m em alguns locais (Paschoaleti, 2023). Um estudo realizado por Reis et al. (no prelo) mostrou que, considerando o período de 41 anos (de 1979 a 2020), a altura significativa das ondas próximo à costa maranhense varia de 0,5 a 2,2 m. Segundo Reis (op. cit) a direção do vento no verão austral (Dez-Mar) é proveniente de nordeste, enquanto no inverno austral (Jun-Set) é predominantemente de sudeste. Durante o outono boreal, a temporada de

furacões da América Central também exerce influência no clima de ondas ao longo da costa maranhense, gerando ondas do quadrante norte/nordeste (Branco, 2005; Quadros, 2016; Reis, 2021).

Apesar das dimensões e importância do litoral maranhense, pouco se sabe sobre sua sedimentologia, o que de fato, ainda limita as pesquisas atuais e futura. O aspecto legal desta questão também é essencial para a melhor compreensão do ambiente praial. De acordo com o § 3º do Art. 10 da Lei nº 7.661/88 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), “Entende-se por praia a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou, em sua ausência, onde comece um outro ecossistema”.

Diante disso, análises sedimentares são imprescindíveis para o planejamento e eficácia de intervenções antrópicas que sigam modelos sustentáveis em ambientes praias (PRATA & ALBINO, 2005) tais como nutrição ou exploração de recursos, construção de obras de contenção e avaliação de dinâmicas de ocupação costeira.

Nichols (2009) define a sedimentologia como o estudo e interpretação dos processos de formação, transporte e deposição de sedimentos em um ambiente. Análises sedimentológicas podem ser usadas para inferir sobre condições ambientais funcionando como uma importante ferramenta na compreensão de sua dinâmica.

Assim, o objetivo do presente estudo foi analisar os padrões de distribuição sedimentar e suas relações com a morfodinâmica das praias arenosas da Ilha do Maranhão, alicerçando dados sobre sua origem (área fonte e suprimento sedimentar) e evolução (agente transportador, morfodinâmica, geomorfologia e hidrodinâmica)

Material e Métodos

A Ilha do Maranhão comporta os municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. Inserida no Golfão Maranhense tem como suas principais unidades litoestratigráficas as Formações: Itapecuru (Cretáceo), Barreiras (Terciário) e Açuí (Quaternário) (Rodrigues et al., 1994; Almeida, 2000; Veiga Júnior, 2000).

As 11 praias amostradas neste estudo diferem-se quanto as suas posições em relação às baías: abertas ou oceânicas (Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho D'Água, Meio, Araçagy e

Mangue Seco e Carimã) e abrigadas (Guia e

Panaquatira) (Figura 1).

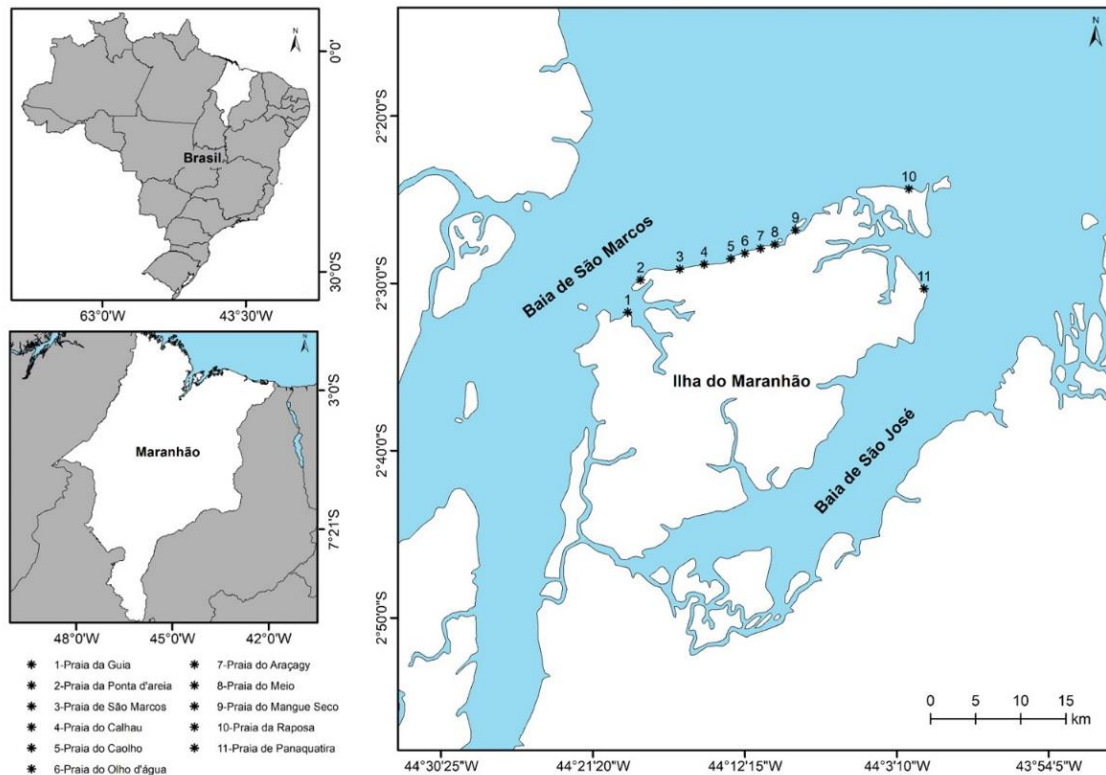


Figura 1. Localização das praias arenosas da Ilha do Maranhão; (1) Praia da Guia, (2) Ponta da Areia, (3) São Marcos, (4) Calhau, (5) Caolho, (6) Olho d'Água, (7) Araçagy, (8) do Meio, (9) Mangue Seco, (10) Carimã e (11) Panaquatira.

Pouco se sabe sobre a morfodinâmica dessas praias, restando a iniciativa do Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG), na execução de trabalhos de conclusão do Curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), a exemplo do trabalho de Borges *et al.* (2017), que demonstra que a altura significativa de onda da praia do Caolho varia de 1,23 m na maré alta à 0,48 m na maré baixa. Albuquerque (2018), Ferreira (2018) e Franco

(2018) relatam que a Praia da Ponta da Areia apresenta altura significativa de onda entre 0,40 m na maré baixa e 1,1 m na maré alta. Franco (2018) relata ainda que a Praia do Araçagy, Calhau, Caolho e Panaquatira possuem altura de onda de 0,87 m, 0,83 m, 0,47 m na maré alta, respectivamente. Na Tabela 1 é possível observar os valores observados para a altura significativa de onda para cada autor considerando a maré alta.

Tabela 1. Altura significativa de onda (Hs) para as praias do Caolho, Ponta da Areia, Calhau, Araçagy e Panaquatira adaptado de Borges *et al.* (2017); Ferreira (2018); Albuquerque (2018); Franco (2018).

Autor	Praia	Hs- maré alta (m)
Borges <i>et al.</i> (2017)	Caolho	1,23
Franco (2018)		1,20
Ferreira (2018)	Ponta da Areia	0,55
Albuquerque (2018)		1,11
Franco (2018)		1,10
		0,83
Franco (2018)	Calhau	0,83
	Araçagy	0,87
	Panaquatira	0,47

As terminologias e limites adotados nas feições do sistema praial consideraram a

sistemática descrita por Wright *et al.* (1982) e Suguio (1980). Segundo Wright *et al.* (1982) a

variação média dos limites das marés de sizígia e quadratura determinam os setores praias. A partir destes, o sistema praial é dividido em três compartimentos: A Zona de Supramaré (ZS) pertencente à região antecedente à maré alta de sizígia (MAS); Zona de Intermaré (ZI) representada pela face praial em si situada entre a maré alta (MAS) e a baixa de sizígia (MBS), sendo ainda subdividida em zona de intermaré superior (ZIS), divididas pelas marés alta de sizígia e quadratura, média (ZIM), compreendendo as marés alta (MAQ) e baixa de quadratura (MBQ) e inferior (ZII) limitada pelas marés baixas de quadratura

(MBQ) e sizígia (MBS). Por fim, a Zona de Inframaré (ZI) é a área marcada pela parte inferior da maré baixa de sizígia (Figura 2).

As amostras sedimentares foram coletadas na ZIM das praias arenosas da Ilha do Maranhão a partir de quadrantes de 20x20 cm, com 10 cm de profundidade para retirada de aproximadamente 150 g de sedimentos (Figura 3). A distância longitudinal (ao longo da praia) entre os pontos de coleta foi de 500 m, medida realizada com GPS Garmin eTrex30. Ao todo, foram coletadas 125 amostras cobrindo 62 km de extensão de praias.

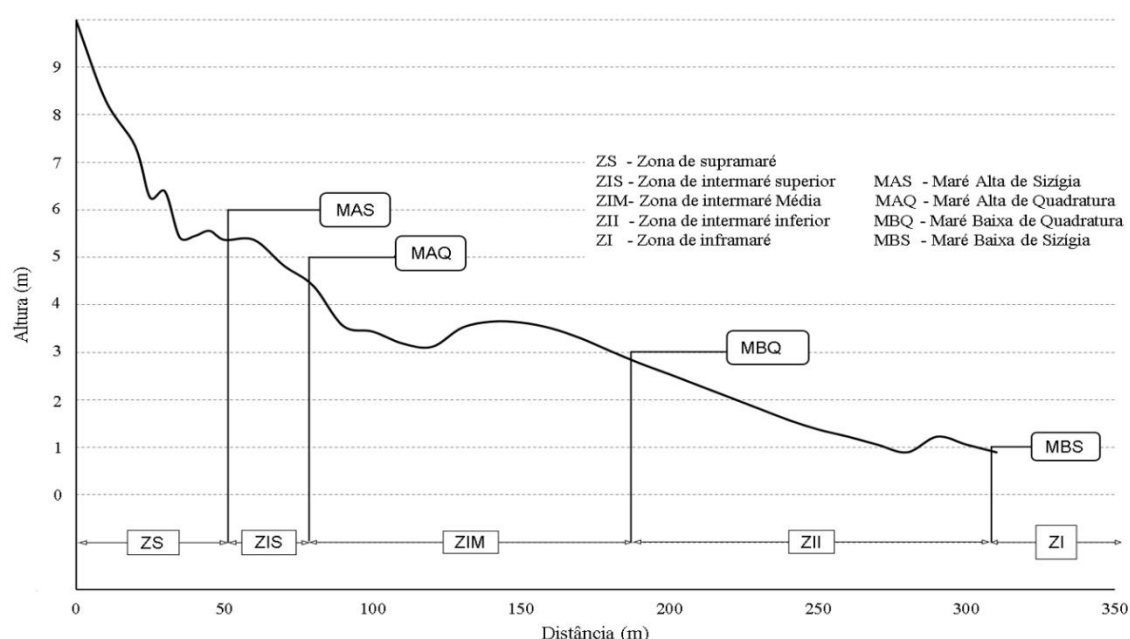


Figura 2. Terminologias e limites adotados do sistema praial considerando a zonation hidrodinâmica proposta por Wright *et al.* (1982).

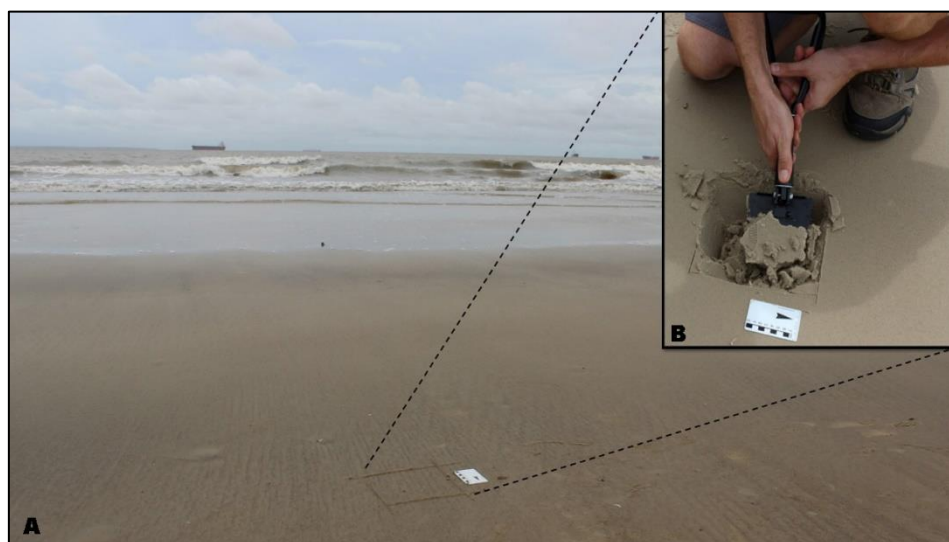


Figura 3. Amostragem de sedimentos na ZIM na Praia de São Marcos, sendo: A) área amostral e B) detalhe execução da amostragem.

O material sedimentar amostrado foi analisado no Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG), da UFMA. Inicialmente o material foi quarteado e lavado para remoção dos sais. Os grãos menores que 0,062 mm foram separados pelo método de pipetagem, enquanto os grãos maiores que 0,062 mm foram peneirados partindo de malhas mais grossas até as mais finas, com intervalo de $\frac{1}{2}\Phi$, até a peneira de 2,00 Φ , sendo agitadas manualmente durante 10 min. Os dados foram processados segundo a análise estatística descrita por Folk & Ward (1957) no software Sysgran 3.0® (Camargo, 2006) a fim de calcular a média granulométrica, seleção, assimetria e curtose dos grãos.

Resultados

Os resultados das análises granulométricas foram sintetizados na figura 4 onde são plotadas as curvas de frequência acumulada dos sedimentos coletados nestas praias, e nas figuras 5 e 6 onde é mostrada a variação dos parâmetros analisados em relação à quilometragem de costa.

Praia da Guia (1)

A Praia da Guia é uma praia abrigada de 4 km de extensão (0-4 km), limitada por falésias e uma foz estuarina, sendo a mais interiorizada na Baía de São Marcos (Figura 1). Com base nas amostras sedimentares, a Praia da Guia apresentou a média dos sedimentos variando de areia fina a muito fina (2,2 e 3,4 Φ), moderadamente a muito bem selecionada (0,3 a 0,5 σ_1), os grãos variaram de simétricos a assimétricos muito negativos (0,01 a -0,47 SK_1) e curtose mesocúrtica e leptocúrtica (0,93 a 1,35 KG).

Praia da Ponta da Areia (2)

A Praia da Ponta da Areia é uma praia oceânica do tipo esporão arenoso, com 3,5 km (4-7,5 km), limitada por falésias e afloramentos da Formação Itapecuru e um espigão rochoso (Figura 1). Todas as amostras foram classificadas como areia fina (2,0 a 2,8 Φ), moderadamente a bem selecionada (0,59 a 0,35 σ_1). Em relação à assimetria (SK_1), houve oscilação entre aproximadamente simétrica e assimétrica negativa (0,08 a -0,18 SK_1). Para a curtose, os sedimentos diferenciaram-se como platicúrticas, mesocúrticas e leptocúrticas (0,82 a 1,19 KG).

Praia de São Marcos (3)

A Praia de São Marcos também oceânica, encontra-se sobre uma projeção costeira, onde afloram a Formação Itapecuru e rochas lateríticas oriundas das discordâncias de topo e base do Membro Alcântara. Possui 2 km de extensão (7,5-9,5 km), sendo seus limites definidos pelas falésias da Ponta do Farol e Rio Calhau (Figura 1), apresentando grãos de tamanho areia fina (2,4 a 2,7 Φ), bem selecionados (0,35 a 0,41 σ_1) e aproximadamente simétricas e positivas (0,04 a -0,08 SK_1). A curtose variou entre platicúrticas, mesocúrticas e leptocúrticas (0,87 a 1,11 KG).

Praia do Calhau (4)

A Praia do Calhau de 4 km de extensão (9,5-13,5 km) tem seus limites geográficos definidos entre o Rio Calhau e a Praia do Caolho. Todas as amostras foram classificadas como areia fina (2,4 a 2,8 Φ), de bem a muito bem selecionadas (0,45 a 0,34 σ_1). Para a assimetria (SK_1), os resultados demonstram comportamentos aproximadamente simétricos, positivos e negativos (-0,13 a -0,10 SK_1). A curtose variou entre as classificações platicúrticas, mesocúrticas e leptocúrticas (0,87 a 1,19 KG).

Praia do Caolho (5)

A Praia do Caolho de 3,5 km de extensão (13,5-17 km) estende-se da Praia do Calhau ao Rio Pimenta e teve suas amostras classificadas como areia fina (2,1 a 2,6 Φ), com grau de seleção entre moderadamente bem a muito bem selecionadas (0,34 a 0,59 σ_1). Para a assimetria, a classificação verbal foi de valores aproximadamente simétricos, positivos e negativos (-0,18 a 0,17 SK_1). A curtose variou entre curvas mesocúrticas e leptocúrticas (0,95 a 1,24 KG).

Praia do Olho d'Água (6)

A Praia do Olho d'Água, que tem 7,5 km de extensão (17-24,5), limita-se do Rio Pimenta às falésias da Praia do Meio, e teve todas as amostras classificadas como fração de areia fina (2,3 a 2,9 Φ), com grau de seleção entre bem e muito bem selecionado (0,27 a 0,91 σ_1). Para a assimetria, os valores foram aproximadamente simétricos, positivos e muito positivos (-0,06 a 0,31 SK_1). A curtose, variou entre curvas mesocúrticas, platicúrticas e leptocúrticas (0,85 a 1,29 KG).

Praia do Meio (7)

A Praia do Meio, que tem 6,5 km de extensão (24,5-31 km), localiza-se entre as falésias da Praia do Meio e Araçagy. Esta praia teve a distribuição muito similar à Praia do Olho d'Água, com amostras na fração de areia fina, (2,6 a 2,9 Φ), com seleção entre pobremente, moderadamente, bem selecionado (0,46 a 1,01 σ_I), assimetria, entre valores aproximadamente simétricos, negativos, muito negativos e positivos (-0,50 a 0,13 SK_I). A curtose variou entre curvas mesocúrticas e platicúrticas (0,71 a 1,00 KG).

Praia do Araçagy (8)

A Praia do Araçagy, com 8,5 km de extensão (31-39,5 km), teve suas amostras sedimentares classificadas entre areia fina e areia muito fina (2,6 a 3,0 Φ), com seleção entre moderadamente e bem selecionado (0,40 a 0,88 σ_I), assimetria com valores aproximadamente simétricos, positivos, muito positivos, negativos e muito negativos (-0,30 a 0,47 SK_I). A curtose variou entre curvas mesocúrticas, platicúrticas e leptocúrticas (0,68 a 1,32 KG).

Praia do Mangue-Seco (9)

Na Praia do Mangue-Seco, de 2,5 km de extensão (39,5-42 km), ocorre um incremento de grãos mais grossos ocasionando a distribuição em intervalos de areia média e fina (1,5 a 2,7 Φ), com seleção entre moderadamente e bem selecionado (0,43 a 0,70 σ_I). A assimetria desenvolve-se entre

valores aproximadamente simétricos, negativos e muito positivos (-0,19 a 0,37 SK_I). A curtose variou entre curvas mesocúrticas, platicúrticas, leptocúrticas e muito leptocúrticas (0,822 a 1,633 KG).

Praia de Carimã (10)

A Praia de Carimã, de 14 km de extensão (42-56 km), limita-se a Ilha de Curupu, sendo a praia mais exposta dentre todas as praias analisadas, e apresentando variação granulométrica com frações de areia muito fina a areia fina (2,3 a 3,4 Φ), com seleção entre moderadamente e bem selecionado (0,40 a 0,99 σ_I), e assimetria com intervalos entre simétricos, positivos, muito positivos, negativos e muito negativos (-0,54 a 0,12 SK_I). A curtose variou entre curvas mesocúrticas, platicúrticas, leptocúrticas e muito leptocúrticas (0,79 a 2,03 KG).

Praia de Panaquatira (11)

A Praia de Panaquatira, de 6,5 km de extensão (56-62,5 km), limita-se da foz do Rio Santo Antônio e Rio Paciência até as falésias de Panaquatira, sendo sua granulometria composta das frações de areia média, fina e muito fina (1,7 a 3,3 Φ), com seleção de bem e muito bem selecionado (0,33 a 0,88 σ_I). Para a assimetria, a classificação verbal foi de valores aproximadamente simétricos, positivos e muito negativos (-0,58 a 0,29 SK_I). A curtose variou entre curvas mesocúrticas, platicúrticas, muito platicúrticas e leptocúrticas (0,65 a 1,36 KG).

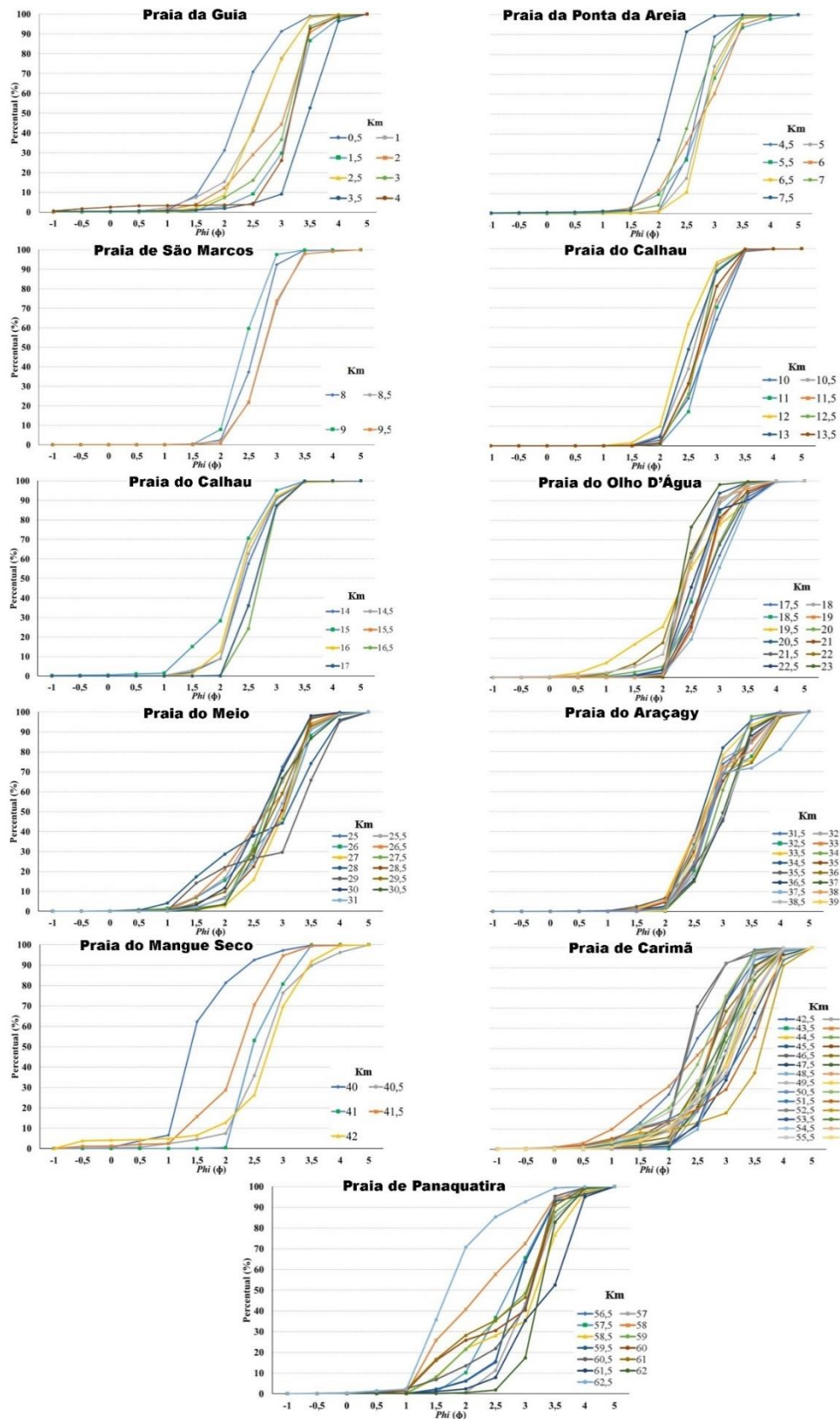


Figura 4. Curvas de frequências acumuladas dos sedimentos das 11 praias amostradas na orla oceânica da Ilha do Maranhão.

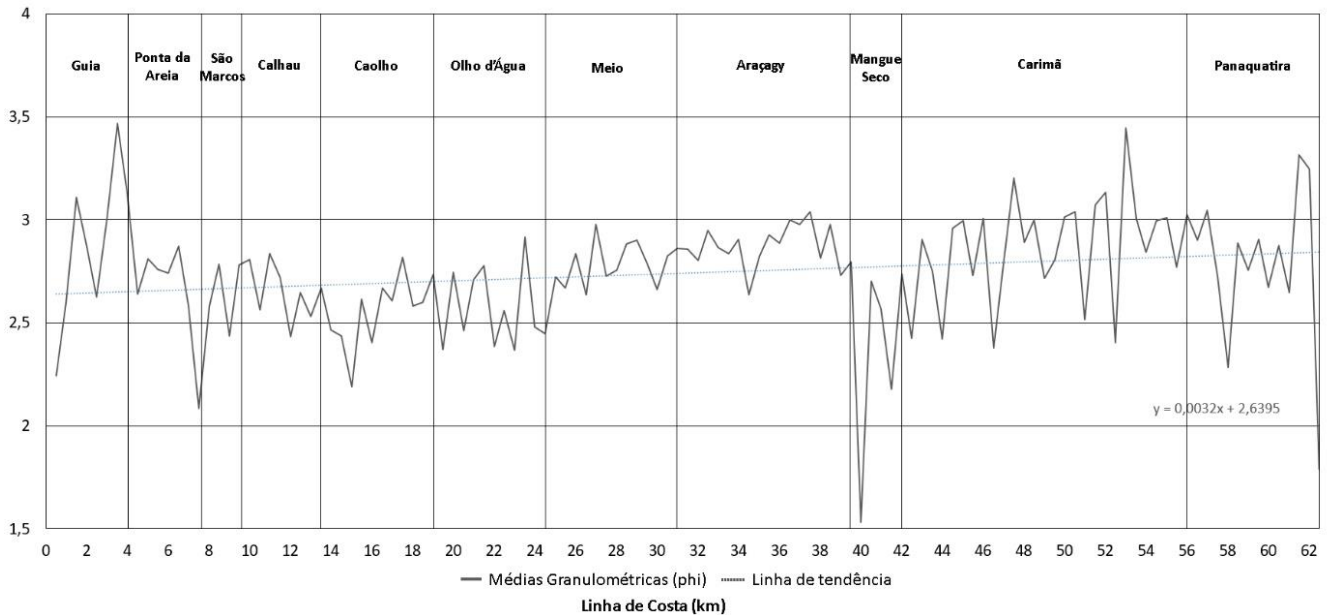


Figura 5. Distribuição das médias granulométricas por quilômetro da linha de costa da orla Oceânica da Ilha do Maranhão.

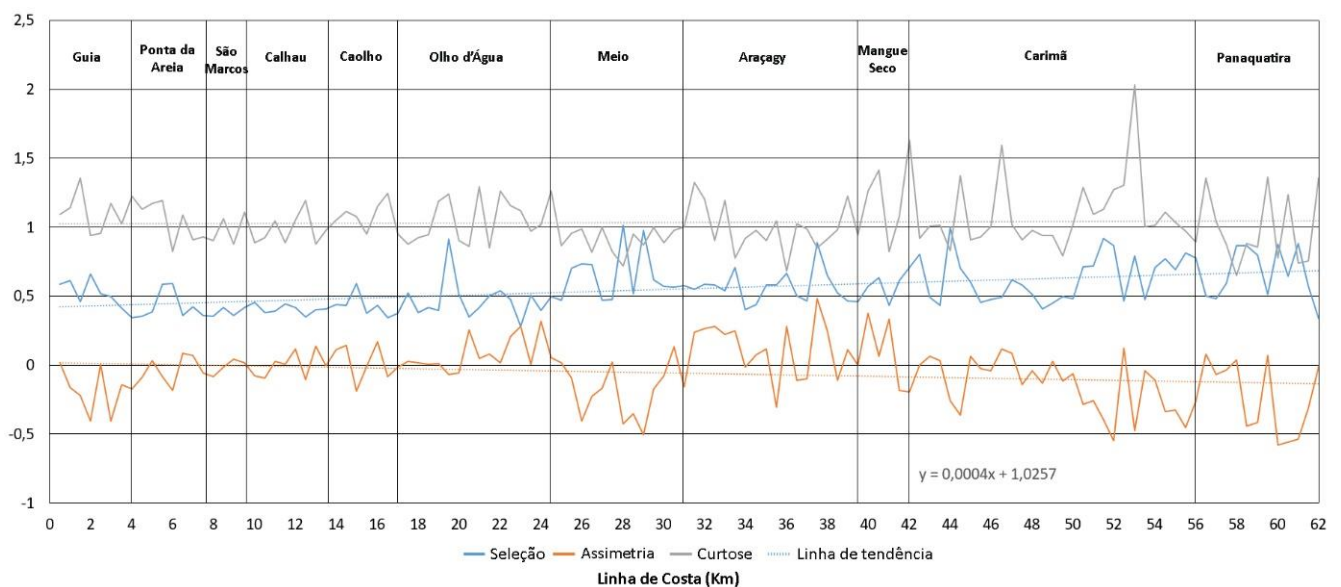


Figura 6. Distribuição dos parâmetros de seleção, assimetria e curtose por quilômetro da linha de costa da orla oceânica da Ilha do Maranhão.

Discussão

Embora as matrizes sedimentares identificadas nas praias da Ilha do Maranhão exibam, majoritariamente, areias finas, os detalhes e peculiaridades de cada praia, indicam variáveis em conexão com o comportamento geomorfológico e morfodinâmico deste litoral. Bird (1996) pontua que a presença majoritária de areias finas em praias oceânicas pode estar relacionada ao atrito progressivo resultante da interação de populações sedimentares, bem como

agentes modificadores (ventos, ondas, correntes, descarga fluvial e marés) promovendo redução mecânica no tamanho das partículas.

A Praia da Guia exibe uma bimodalidade no comportamento sedimentar, alternando amostras de areia fina e muito fina. Esta praia encontra-se junto de uma desembocadura estuarina, o Igarapé do Riacho cuja presença é notada na redução do tamanho dos grãos ($3,4 \Phi$), junto do quilômetro 3,5. Pereira *et al.* (2014) apontaram que incrementos de sedimentos finos nas praias oceânicas da Ilha do Maranhão podem

estar relacionados a falésias da Formação Itapecuru (Membro Alcântara) que, após erodidas, fornecem sedimentos finos aos setores praias. Os teores de silte nesta praia alcançam 3,6%, e sugerem uma menor hidrodinâmica (Figura 7). Horn Filho (2006), ao estudar as praias arenosas de Santa Catarina, afirma que praias de enseada tem

granulometrias mais finas sobretudo em função de agentes hidrodinâmicos e pela disposição destas praias ao longo da linha de costa. De fato, nota-se que a Praia da Guia (Figura 8) apresenta similaridades ao observado no litoral catarinense, como sua interiorização na Baía de São Marcos.

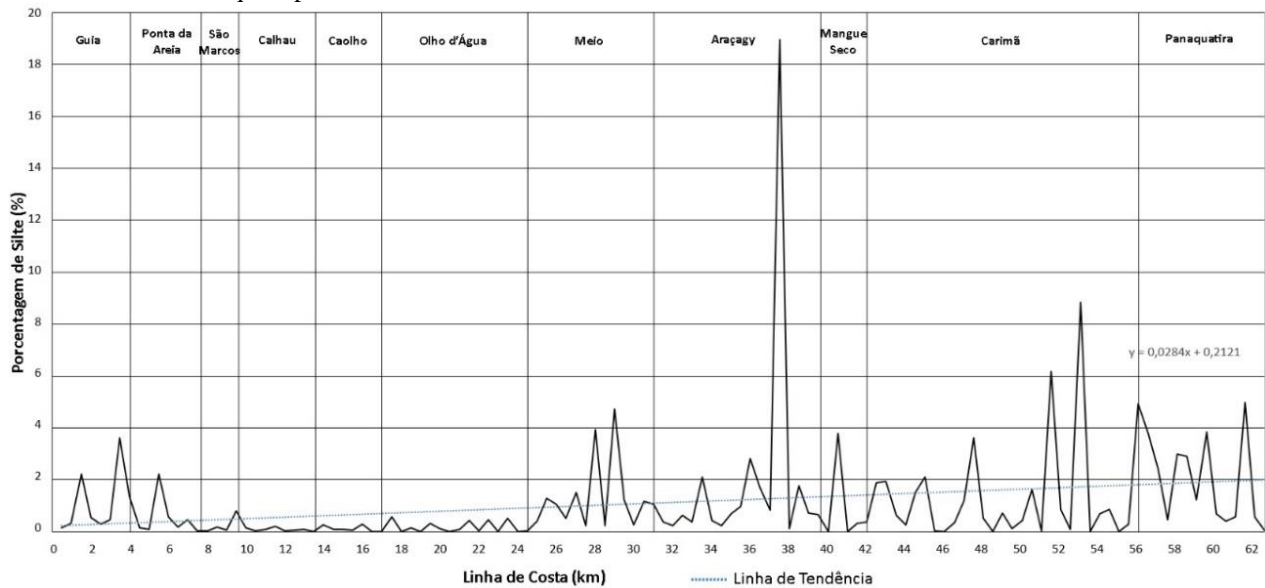


Figura 7: Distribuição da porcentagem de silte, por quilômetro da linha de costa.

Embora a granulometria das praias da Ilha do Maranhão seja predominante de areias finas, a seleção sedimentar oscila entre moderadamente e muito bem selecionada. Na praia da Guia é possível observar o comportamento bimodal quanto à seleção. Entre 0-3 km há predominância de seleção moderada enquanto entre 3,5-4 km tende para a melhora da seleção. Isto se dá pela proximidade do setor de foz do Igarapé do Riacho que fornece sedimentos ao ambiente praias e, à medida que adentra a praia, os grãos menores são transportados para as dunas escadoras (*climbing dunes*), piorando a seleção na face praias. Ou seja, a seleção

sedimentar encontra-se intimamente relacionada à proximidade da área-fonte, bem como o nível de retrabalhamento no ambiente deposicional (*e.g.* Short, 1991).

Quanto à assimetria das curvas de distribuição granulométrica, apenas os quilômetros 0,5 e 2,5 km foram classificados em aproximadamente simétricos, os demais oscilaram entre negativos e muito negativos. Duane (1964) sugere que assimetrias negativas em praias arenosas podem ser resultado de eventos erosivos. De fato, a praia da Guia exibe falésias ativas e atualmente submetidas à erosão (Figura 8).



Figura 8. Vista aérea da Praia da Guia, onde é possível observar a formação de dunas escadadoras sobre as falésias do Membro Alcântara.

A assimetria indica alterações nos valores modais de grãos finos ou grossos. Essa dinâmica é influenciada pela atuação das ondas, dos ventos e marés quando ocorre homogeneização dos sedimentos praias (Bittencourt *et al.*, 1992). Assimétrias positivas indicam um desvio da cauda da curva de distribuição granulométrica para os finos, enquanto assimétrias negativas indicam um desvio da cauda da curva de distribuição granulométrica para os grossos. A interpretação disto resulta em assimetria positiva quando associadas a eventos deposicionais resultando na cauda para os finos e eventos deposicionais erosivos quando a cauda tende para os sedimentos grossos. Rocha-Barreira (2004) mostrou que padrões assimétricos refletem peculiaridades da topografia submersa da praia, eventos de alta energia e de dissipação da energia. Os trechos 0,5 e 2,5 km foram classificados em aproximadamente simétricos, enquanto que os demais oscilaram entre negativos e muito

negativos, indicando uma tendência erosional deste setor.

A curtose na Praia da Guia indica uma mistura de subpopulações sedimentares, visto que a bimodalidade entre classificações de curtose mesocúrticas e leptocúrticas ocorrem quase que de forma rítmica. Segundo Martins (1965), os sedimentos praias possuem em geral curvas leptocúrticas, enquanto sedimentos eólicos apresentam curvas mesocúrticas. De fato, as areias finas identificadas nesta praia tendem para sedimentos eólicos, sugerindo variação das condições energéticas, inicialmente com deposição e de material fino. Um comportamento semelhante foi evidenciado por Marino *et al.* (2013) em praias de Fortaleza (CE), onde as amostras platicúrticas indicariam ambientes deposicionais, as leptocúrticas indicariam ambientes com predomínio de transporte (*e.g.* Emery, 1978) e a curtose mesocúrtica indicaria ambientes de equilíbrio entre transporte/deposição (Dias, 2004).

Lima *et al.* (2020) caracterizaram a geomorfologia das praias oceânicas da Ilha do Maranhão como barreiras de praias anexadas (*mainland beach barrier*) e esporões arenosos (*spits*). Variações observadas na curtose podem estar relacionadas ao pequeno estoque sedimentar disponível para mobilização da face praiar nos domínios de praias anexadas e um amplo estoque sedimentar associado a praias do tipo esporão arenoso, em confluência a um amplo transporte longitudinal pela deriva litorânea.

Na Praia da Ponta da Areia o padrão de distribuição sedimentar foi homogêneo em areia fina, sendo possível observar pontualmente diminuição do ϕ médio ($2,0 \Phi$). Esta praia foi modificada pela construção de um espigão costeiro, que captura o transporte dos sedimentos transportados pelas correntes longitudinais. Entre 5,5-6 km a piora no grau de seleção demonstra a existência de um setor erosivo, rico em minerais pesados, refletindo o elevado retrabalhamento da face

praiar (Figura 9). Isso é um indicativo de que mesmo após a construção do espigão, os elevados níveis energéticos desta praia ainda não haviam entrado em equilíbrio com as condições deposicionais pós-construção do espigão costeiro. Nestes pontos são também encontrados entulhos de construção civil, provavelmente resultantes das ações de remediação introduzidas por moradores locais como forma de contenção à erosão costeira (Ferreira, 2018; Albuquerque, 2018). No entanto, a presença do espigão costeiro neste setor resulta em uma forte tendência de simetria (aproximadamente simétrica) quanto à dispersão sedimentar neste setor, o que condiz com os aspectos deposicionais induzidos pela retenção dos sedimentos via deriva litorânea (corrente longitudinal). Valores aproximadamente simétricos devem-se também aos campos de dunas formados no pós-praia à montante do espigão, que contribuem para a ampliação do estoque sedimentar neste setor.



Figura 9. Vista da Praia da Ponta da Areia no quilômetro 4,5 onde foi construído o espigão rochoso, junto à foz do Rio Anil.

Entre os trechos de 4,5-9,5 km (Praias de Ponta da Areia e São Marcos), observa-se uma cadência entre valores leptocúrticos e mesocúrticos. Segundo Lima *et al.* (2020) a morfologia da Praia da Ponta da Areia é classificada como do tipo *headland spit* apresentando estruturas que promovem

aprisionamento de sedimentos, neste caso um espigão rochoso (Figura 10). A Praia de São Marcos representa o ponto de ancoragem do esporão arenoso da Ponta da Areia, existindo nesta localidade um espigão laterítico natural. Deste modo, a curtose em um primeiro momento para as duas praias demonstra curvas leptocúrticas indicando transporte e remobilização de

sedimentos praias. Após isto, em alguns trechos em que a energia do ambiente diminui, ocorre deposição sedimentar (curvas platicúrticas), seguidas do aumento energético, promovendo um balanço entre transporte/deposição (curvas mesocúrticas).

A Praia de São Marcos mantém a classificação para frações de areia fina. Lima *et al.* (2020) salientaram que o estrêncio dessa e de muitas praias do município de São Luís apresentam médias granulométricas em areia fina,

principalmente em função barreiras físicas (*trap*) ocasionadas pelo acúmulo de rochas lateríticas na face praial, que atuam como espigões naturais, retendo parte da deriva litorânea de sedimentos. No caso da Praia de São Marcos, o espigão natural situa-se no quilômetro 9 (Figura 10), no entanto em todo seu entorno existem afloramentos do Membro Alcântara tornando estes setores importantes pontos de *by-passing* de sedimentos (Lima *et al.*, 2020).



Figura 10. Espigão natural laterítico na Praia de São Marcos. A direita do espigão encontra-se uma pessoa em pé como referência de escala.

Na Praia de São Marcos as assimetrias positivas indicam a deposição de sedimentos, corroborando a presença e atuação dos espigões naturais lateríticos. Como esta praia encontra-se numa projeção costeira por conta da exposição de uma falésia, seu estoque sedimentar é bastante variável. Franco (2018) identificou nas praias oceânicas de São Luís que grandes volumes de areia transitam pela orla sendo controlados por espigões naturais posicionados na zona intermaré inferior, que em quadratura, retém/armazenam areia, e em condições de sizígia liberam/disponibilizam este sedimento, principalmente pelo transporte na porção superior da praia (zona intermaré superior).

Na Praia da Ponta da Areia, São Marcos e Calhau e um trecho da Praia do Caolho, a seleção sedimentar exibe variação 0,2 décimos, entre bem e muito bem selecionadas. Estas praias têm no

retrabalhamento dos sedimentos um dos principais fatores a ser levado em consideração para tal grau de selecionamento. Isto porque nestas praias é identificado a maior altura significativa de ondas deste litoral (Tabela 1). A energia de onda tende a ser o principal agente transportador em praias arenosas (Figueiredo e Calliari, 2006), no entanto, o vento também desempenha um importante papel, uma vez que promove a depleção da face praial (Hesp, 2006). Todas estas praias apresentam campos de dunas, no entanto a praia do Calhau possui as dunas frontais mais expressivas deste litoral (Figura 11). Experimentos utilizando armadilhas eólicas a fim de investigar a dinâmica do transporte de sedimentos na praia da Ponta da Areia, evidenciaram o poder de seleção dos ventos, retendo grãos bem e muito bem selecionadas resultantes da movimentação de partículas por saltação e rolamento (Albuquerque, 2018).



Figura 11. Dunas frontais Praia do Calhau.

Na praia do Calhau as areias são finas e bem selecionadas, refletindo a influência da foz do Rio Calhau no último quilometro desta praia (13,5 km). A seleção sedimentar das praias do Calhau, Caolho e Olho d'Água são os melhores dentre as praias amostradas (figura 6). Merecem destaque também os menores teores de silte nestas praias (figura 7), pois representam o mínimo observado. Estes comportamentos podem estar associados tanto à presença de dunas frontais ampliando o estoque sedimentar, como à presença de desembocaduras fluviais (rio Pimenta e rio Calhau).

Na Praia do Calhau, Caolho e Olho d'Água a assimetria varia em função de determinadas morfologias da praia, como por exemplo no quilometro 15 pela presença de espigões naturais lateríticos (figura 6 e 12). Nestas zonas o déficit de sedimentos é uma característica marcante, onde as areias, controladas pela deriva litorânea de sedimentos, transladam pelos sistemas praias, ora expondo ora recobrimdo tais afloramentos. Estes

por sua vez, reduzem o espaço de acomodação da praia, e ampliam o empolamento das ondas, resultando em intensa erosão costeira. As fontes adicionais oriundas dos sistemas fluviais têm papel fundamental no balanço sedimentar desta praia, modificando o comportamento da linha de costa pontualmente, manifestando-se como projeções costeiras, junto das desembocaduras fluviais (figura 13).

Os afloramentos lateríticos nestas praias expõem cascalhos, blocos e matacões e são também responsáveis pela retenção de sedimentos na face praial em condições favoráveis ao transporte eólico, atuando como trapeadores de sedimentos. Nota-se que os menores valores de 2,1 e 2,4 Φ foram encontrados justamente sobre tais afloramentos. Um comportamento similar foi identificado em praias do Pará, onde Braga (2007) conclui que variações sutis no comportamento simétrica/positiva são controladas pela intensidade da ação das ondas que depositam na face praial os sedimentos oriundos de erosão dunar.



Figura 12. Vista aérea de uma espigão natural na Praia do Caolho.

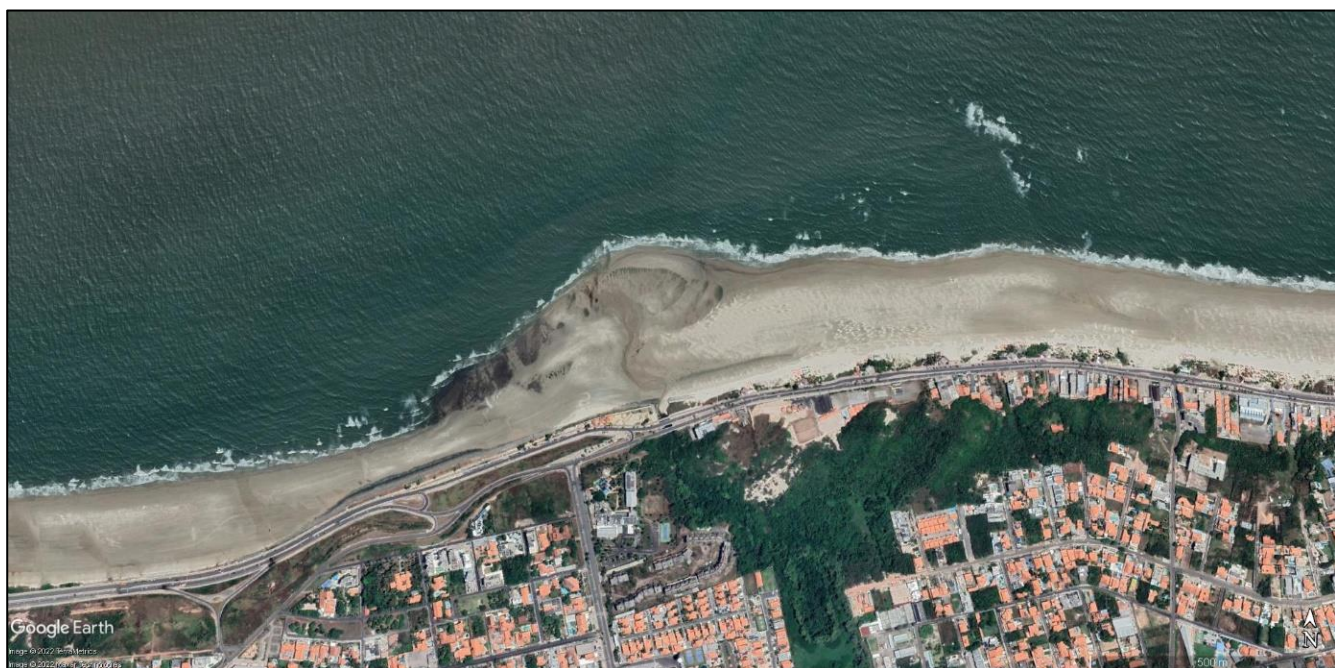


Figura 13. Projeção da linha de costa em resposta ao suprimento sedimentar fluvial do Rio Calhau. Fonte: Google Earth.



Figura 14. Face praial da Praia do Olho d'Água, evidenciando a presença de calhas de maré.

Com uma classificação exclusivamente em areia fina, a Praia do Olho d'Água exibe uma tênue inclinação para valores de ϕ menores entre 19,5 a 23,5 km, sugerindo que há influência da descarga fluvial do rio Pimenta, tal qual na praia do Caolho.

Os pontos compreendidos entre 7-17 km (Praia do Calhau e Caolho) apresentaram semelhanças em relação aos valores encontrados para curtose. Ambas são caracterizadas como praias anexadas, e sua localização encontra-se nos limites das falésias das formações Itapecuru (Lima *et al.*, 2020). Embora haja oscilação nos valores de curtose, a classe mesocúrtica é a predominante em ambos os setores, ao passo que a proximidade entre as curvas platicúrticas e leptocúrticas sugerem que o sedimento está em um ambiente de alta energia e sendo depositado em outro lugar, como nos bancos arenosos na porção submersa praial.

Entre 17,5-24,5 km (Praia do Olho d'Água), nota-se amostras platicúrticas, mesocúrticas e leptocúrticas. Estas duas últimas com maior expressividade. Oscilações entre curtoses mesocúrticas e leptocúrticas para praias arenosas de baixa declividade demonstram

variações energéticas, sugerindo menor ação hidrodinâmica de ondas e maior ação das marés (Oliveira *et al.*, 2012), o inverso disto, resultaria em tendência de curtoses leptocúrticas (Horn Filho, 2006).

A praia do Meio (24,5-31 km) apresenta a menor variabilidade granulométrica dentre as praias (0,2 - 0,3). A predominância destes valores ocorre numa maior ocorrência de silte em relação as praias anteriores (figura 7). Esta praia encontra-se associada a formação de calhas de maré concomitantemente a elevação das dimensões das falésias anexadas a praia. A presença de calhas de maré atua como armadilhas sedimentares, aprisionando sedimentos eólicos movidos do estirâncio nas marés baixas. Outro ponto que pode estar relacionado a tendência sedimentar desta praia se deve a extensão do pós-praia ao estirâncio, sobretudo quando há maior exposição na maré baixa e ocorre uma ampla circulação de veículos (Figura 15). Priskin (2003) e Stephenson (1999) constataram que a circulação de veículos sob o substrato praial é um dos principais agentes responsáveis pela compactação das praias.



Figura 15. Praia do Meio, indicando o fluxo e permanência de veículos na face praial.

Iniciando-se na praia do Meio e seguindo-se as demais praias ao norte da Ilha do Maranhão há uma piora no selecionamento (figura 6). Isto fica mais evidente nos quilômetros 28-29 onde a seleção oscila entre $1,01 - 0,97 \sigma_1$, respectivamente. Schlacher e Thompson (2008) em praias australianas, associam pioras no padrão de seleção à compactação do sedimento em função do fluxo de veículos, algo muito semelhante ao que acontece nas praias do Meio e Araçagy. É notável que nestas praias o tamanho médio de grão diminui (figura 5) em função da compactação, o que por sua vez, diminui a interação energética do meio, sobretudo por agentes eólicos, devido ao efeito de coesão entre as partículas. A menor disponibilidade de sedimentos eólicos, mantem grãos menores na face praial e consequente piora no selecionamento. Outro ponto a ser levado em consideração, dá-se pelo fato de que nas adjacências desta praia, falésias do Membro Alcântara, tipicamente são conhecidas por piorarem o padrão de seleção da face praial (Rossetti, 2006).

Na praia do Meio, a maioria das amostras indicaram assimetrias negativas e muito negativas. Embora em alguns pontos existam tímidas melhoras deste parâmetro, as tendências erosivas presentes neste setor são mais expressivas.

Na Praia do Araçagy (31,5-39,5 km) observa-se tendência para uma classificação de areia fina, ocorrendo pontualmente uma amostra de areia muito fina. Porém o que se percebe é que mesmo dentro desta classificação os valores encontram-se junto ao limite para areia muito fina (figura 5). Franco (2018) com base em estudos morfodinâmicos classificou esta praia como do morfotipo *non-barred dissipative*. Além disso, tal qual as praias de São Marcos e Caolho, observa-se a presença da geologia antecedente aflorante na face praial o que provavelmente influencia a amostra nas adjacências do quilômetro 37,5, que possui o maior teor de silte verificado em todo trabalho (Figura 7). Processos de voçorocamento são ativos nas falésias do Araçagy indicando uma fonte potencial para suprimento sedimentar desta praia.

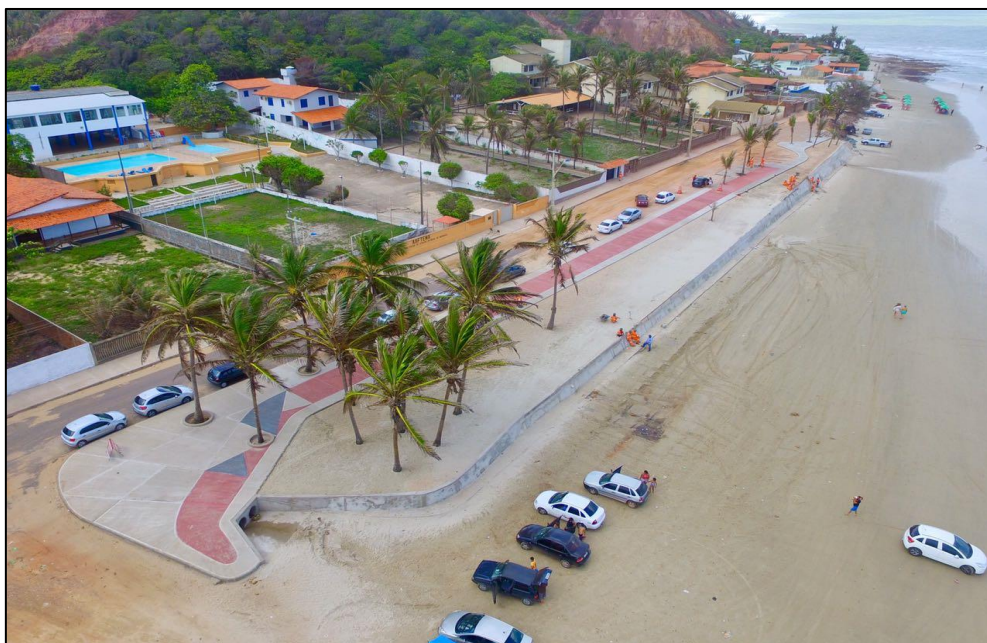


Figura 16. Vista aérea da praia do Araçagy onde é permitida a circulação de veículos na face praial. (Fonte: Raillen, 2018).

Tal qual a praia do Meio, este setor sofre pela intensa circulação de veículos. Botão *et al.* (2019) confirmam que a presença de areia fina está relacionada a zona de estirâncio e areia muito fina em depósitos eólicos. Este mesmo autor relaciona a presença de automóveis a compactação praial, onde a face praial é 6 vezes mais compactada do que o estirâncio, que por sua vez é cerca de 60 vezes mais compactado do que os depósitos eólicos. Segundo este mesmo autor, a diminuição da interação entre as interfaces de sedimentos eólicos/praias ocasiona a piora no selecionamento como um dos efeitos da compactação das matrizes sedimentares ocasionada pelo trânsito de veículos. A assimetria desta praia indica que este setor passa por variações energéticas resultando em processos de erosão/deposição. Alguns elementos afetam a variação da assimetria, como evidenciado por Franco (2018) que encontrou valores positivos de assimetria para a praia do Araçagy e segundo o autor, este setor praial apresenta padrão rítmico de distribuição, similar as praias da Ponta d'Areia, São Marcos (Farol) e Caolho, associado a presença de rochas lateríticas (originadas do processo de erosão das falésias) na face praial que funcionam como espigões costeiros, gerando progradação a montante e erosão a jusante dos enrocamentos da face praial.

Na praia do Meio e Araçagy há um predomínio entre valores platicúrticos e mesocúrticos, embora a praia do Araçagy também tenha apresentado frações leptocúrticas. Ambas as

praias exibem os menores valores numéricos da curtose dentre todas as praias contempladas neste estudo (figura 6). Davies *et al.* (2016) estudando praias australianas submetidas ao intenso tráfego de veículos identificaram relações pertinentes com a redução dos valores de curtose. Segundo os autores, o fluxo constante do tráfego amplia a susceptibilidade aos processos *swash*, havendo uma migração líquida de sedimento para o mar.

A Praia do Mangue-Seco (40-42 km) apresentou comportamento similar às demais praias, com tendências para areia fina, no entanto, no km 40, foi notada a presença de sedimentos de granulometria média (1,53 Φ). Isto sinaliza a possível interação de alguns processos, tais como: remoção dos sedimentos finos por ação das calhas de maré próximas à zona de espraiamento e pós-praia em condições hidrodinâmicas favoráveis (Masselink e Short, 1993; Franco, 2018); além disso, nesta localidade, as calhas de maré são muito pronunciadas pois coincidem com a drenagem de vastas áreas de mangue. A praia do Mangue Seco conta com o maior espaço de acomodação na face praial, em outras palavras é onde a linha de costa é mais distante das falésias. Rebelo-Mochel *et al.* (2001), em sua caracterização sobre a distribuição dos manguezais maranhenses, discorrem brevemente sobre o Mangue Seco, sugerindo que nesta localidade o balanço sedimentar entre o sistema praia/manguezal é influenciado pelas condições de maré, havendo descarga de sedimentos mais finos. Isto de fato se verifica ao

observar a figura 5. Na Praia do Mangue Seco a assimetria se apresenta bastante variada, desde negativa a muito positiva. Nota-se que a predominância de curvas assimétricas está associada a presença tanto da formação de bancos arenosos na antepraia como também calhas de maré no pós-praia. Parte deste material, inclusive integra o balanço entre os sedimentos praial/manguezal adjacentes à região (Rebello-Mochel *et al.*, 2001).

Na Praia de Carimã (42,5-55,5), a alternância entre areia fina e areia muito fina pode ser observada devido à mudança de orientação desta praia. O quilometro 42,5 ao 49,5 exibe uma orientação L-O com predomínio de areia fina, enquanto do quilometro 49,5 ao 56 a orientação é aproximadamente N-S e o predomínio é areia muito fina. O parâmetro seleção acompanha esta variabilidade direcional onde o setor de orientação

L-O tem melhor seleção que o setor de disposição N-S, isto novamente em função do transporte eólico, onde o primeiro setor (L-O) conta com o desenvolvimento de amplas dunas frontais e transgressivas (figura 17). Na Praia de Carimã as curvas de assimetria exibem a mesma tendência dos demais parâmetros granulométricos, ou seja, um comportamento dependente da orientação da praia. O primeiro setor de orientação L-O tende para curvas simétricas, enquanto o setor N-S assimetrias negativas. Isto pode estar indicando que o segundo setor (N-S) se encontra exposto a condições mais energéticas ou devido a orientação deste setor praial encontrar-se mais exposta ao transporte por correntes longitudinais (deriva litorânea). Da mesma forma, a curtose exibiu tendências para curvas mesocúrticas no setor L-O enquanto leptocúrticas foram predominantes no setor N-S.

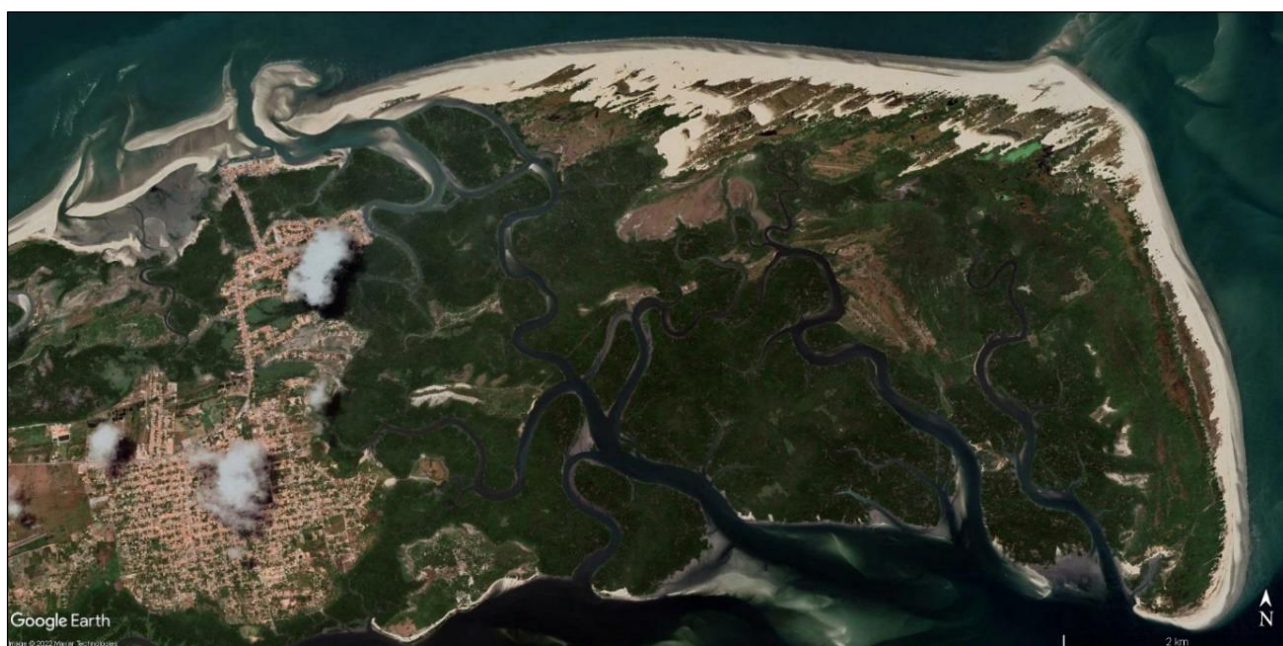


Figura 17. Praia de Carimã, indicando a variabilidade de orientação da linha de costa e consequente formação de dunas transgressivas no setor de orientação L-O. Fonte: Google Earth.

A Praia de Panaquatira (56,5-62,5 km) evidencia um cenário mais complexo quando comparado às demais praias. Esta praia encontra-se no limite entre praia arenosa e terraço de maré, e de fato, a exposição da face praial que em condições de maré baixa expõe 1 km de zona intermaré. Franco (2018) classificou morfodinâmica desta praia como ultradissipativa. Nota-se que no extremo da praia (62,5 km) há presença de sedimento mais grosso, classificado em areia média ($1,78 \Phi$), em função da exposição de falésias diretamente à praia.

A seleção sedimentar da praia de Panaquatira tende para amostras moderadamente selecionadas, onde apenas duas amostras apresentaram grau de seleção entre bem (57 km, $0,48 \sigma_1$) e muito bem (62 km, $0,33 \sigma_1$) selecionadas. A descarga fluvial nesta praia torna-se um fator preponderante, pois dois rios têm sua foz no extremo do esporão arenoso de Panaquatira depositando materiais aluvionares e fluvio-marinhos piorando a seleção (Almeida, 2000).

Na praia de Panaquatira as curvas de assimetria refletem sobre o suprimento sedimentar.

Como esta praia encontra-se sobre um esporão arenoso, na sua extremidade (56,5 km) ocorrem curvas aproximadamente simétricas, dando a entender que nesta posição o suprimento sedimentar é alto, em função do aporte dos rios Paciência e Santo Antônio, somados a resultante SE-NO da deriva litorânea; enquanto da base do esporão (*headland*) (62,5 Km) as curvas tendem a ser negativas em função da proximidade de falésias num setor de projeção costeira. As curvas de

curtose oscilaram entre leptocúrticas e platicúrticas, com pouca incidência de curvas mesocúrticas. Curvas platicúrticas preconizam um espalhamento de sedimentos nas pontas da curva, resultado da mistura de diferentes populações granulométricas (Martins, 2003). De fato, esta praia ultra dissipativa representa o extremo de uma praia quase tendendo a um terraço de maré e ainda se encontra confinada a uma foz fluvial e falésias indicando ampla variedade de fontes sedimentares.



Figura 18. Vista área da Praia de Panaquatira.

Os dados indicam que há uma semelhança entre os dados encontrados e a literatura. As diferenças no padrão granulométrico encontrado ao longo da costa refletem de que forma atua a geomorfologia antecedente no processo de deposição sedimentar ao longo da costa. Reforçando o conceito de que as características do tamanho dos grãos nas praias estão longe de ser homogêneas. (Van Ijendoorn, *et al.* 2022).

As falésias e dunas influenciaram no padrão sedimentar das praias muito provavelmente por serem fontes distintas de sedimento, assim como os processos de erosão/acresção praia que são diferentes ao longo da costa e do tempo (Baiyegunhi, *et al.* 2020; Carvalho & Woodroffe, 2020; Warrick *et al.*, 2022; Van Ijendoorn, *et al.* 2023). Interligados a esses fatores

ocorrem em maiores porções nas praias da Panaquatira, Araçagi e Guia.

Por sua vez, outro fator importante para a composição textural das praias é a presença de desembocaduras e sangradouros que resultam em uma maior flutuação de energia que resultou em sedimentos menos classificados (Zuraida *et al.*, 2021). Fatores mais atuantes nas praias do Manguê seco, Caolho e Calhau.

Outros parâmetros não analisados nesse estudo devem ser levados em consideração em trabalhos futuros pois podem exercer diferentes influências ao longo da costa como as correntes litorâneas, correntes de marés, larguras de praias (espaço de acomodação) e as declividades das praias que apresentam relação direta com o tamanho de grão associados a hidrodinâmica local

(Buján 2019; Kuai, *et al.*, 2021; Karlonienè *et al.*, 2021; Perera *et al.*, 2023).

Conclusões

A análise granulométrica de 125 amostras sedimentares do estirâncio permitiu avaliar, ao longo de 62,5 quilômetros de praias arenosas, as matrizes sedimentares que compõem o litoral da Ilha do Maranhão.

Os sedimentos praias são predominantemente do tamanho areia fina e muito fina, variando de bem a moderadamente selecionados, com assimetrias e angulosidade variadas, refletindo as interações inerentes de cada compartimento praias na dependência da orientação, suprimento sedimentar e da geologia antecedente.

A variação de assimetria das praias indica tendências erosivas e deposicionais associadas a fontes sedimentares distintas. Espigões costeiros (naturais e antrópicos), enrocamentos lateríticos e calhas de maré conduzem a energia destes ambientes alternando ciclos de erosão e deposição.

A distribuição da angulosidade (curtose) possibilitou a identificação de padrões de interação entre áreas fonte e a geomorfologia local, estando associado à mistura de subpopulações sedimentares. Além disso, variações nos processos energéticos de transporte das partículas da área-fonte para a praia, podem ser responsáveis pela alteração de suas características originais.

A seleção sedimentar demonstrou a competência dos agentes modificadores da dinâmica praias, ora mais atuantes e ora sujeitos às intervenções antrópicas.

O morfotipo de barreira costeira exerce grande influência nos setores praias da Ilha do Maranhão indicando características erosivas em barreiras de praias anexadas (*mainland beach barrier*) com pouca disponibilidade de sedimentos, enquanto e as barreiras de esporões arenosos ligadas a cabeços de promontórios (*headland spit barrier*) indicam características deposicionais.

Os afloramentos lateríticos presentes nos ambientes praias da Ilha do Maranhão modulam não somente o transporte longitudinal, mas a energia de onda associada a tais feições, sendo perceptíveis nos parâmetros granulométricos analisados.

O trânsito de automóveis nas praias do Meio e Araçagy ficaram evidentes, modificando de maneira anômala todos os parâmetros granulométricos analisados.

De modo geral, os parâmetros estatísticos se mostraram uma ferramenta importante para a

compreensão da interação entre o regime energético (ação de ondas e marés), posição da linha de costa, regime climático, transporte eólico, suprimento sedimentar, geologia antecedentes e posição dos setores praias em relação às áreas-fonte no que tange ao retrabalhamento de sedimentos praias.

Os dados obtidos neste estudo reforçam a importância de monitoramentos que busquem entender a dinâmica sedimentar em diversos setores praias, deste modo remetendo como subsídios para o gerenciamento costeiro, ampliação e elaboração de técnicas de manejo para Ilha do Maranhão, além de melhoria na gestão destes ambientes.

Referências

- Albuquerque, S.S. (2018). 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.
- Almeida, H. G. (2000). (ORG.). Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Luís SW/NW, Folhas SA.23-V E SA.23-Y. Estados do Pará e Maranhão. Escala 1:50 0.000. Brasília: CPRM.
- Alsharhan, A. S., EL-SAMMAK, A. A. (2004). Grain-size analysis and characterization of sedimentary environments of the United Arab Emirates coastal area. *Journal of Coastal Research*, 20(2), 464–477.
- Baiyegunhi, T. L., Liu, K., Gwavava, O., & Baiyegunhi, C. (2020). Textural characteristics, mode of transportation and depositional environment of the Cretaceous sandstone in the Bredasdorp Basin, off the south coast of South Africa: Evidence from grain size analysis. *Open Geosciences*, 12(1), 1512–1532¹.
- Belknap, D. F., & Kraft, J. C. (1985). Influence of antecedent geology on stratigraphic preservation potential and evolution of Delaware's barrier systems. *Marine Geology*, 63, 235–262.
- Bezerra, F. H. R., Barreto, A. M. F., & Suguio, K. (2003). Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State Coast, Brazil. *Marine Geology*, 196, 73–89.
- Bigarella, J. J. (1975). The Barreiras Group in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências: suplemento*, 47, 365-393.

- Bird, E. C. F. (1996). Lateral Grading of Beach Sediments: A Commentary. *Journal of Coastal Research*, 12(3), 774-785.
- Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology: An Introduction*, 2nd Edition, Wiley, Chichester, 411p.
- Bittencourt, A. C. S. P. (1992). A questão da predominância ou não de valores negativos de assimetria das distribuições granulométricas para os depósitos da face da praia – uma polêmica revisitada. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(1), 107-11.
- Borges, K. K., Franco, B. J., Lima, L. G., Ferreira, M. S., Meneses, E. F. De, Silva, T. B. DA, Pereira, D. M., Dias Carvalho, A. P., & Pereira, V. V. (2017). Caracterização da concentração de sedimentos transportados na zona de surfe na praia do Caolho, São Luís. In: *Anais do XXIX Semana Nacional de Oceanografia*. São Luís (MA): UFMA.
- Botão, J. Da C., Franco, B. J., Pereira, D. De M., Leite, J. S. S., Albuquerque, S. S., Melo, T. Da S., Pereira, V. V., & Lima, L. G. (2017). Compactação de Praias Arenosas: Efeitos de Espigões Costeiros e Tráfego de Veículos, Ilha do Maranhão - Brasil. In: *Mochel, F. R. (Org.). Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2* (2a ed., pp. 1-12). Atena Editora.
- Braga, F. P. S. (2007). *Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo*. Belém: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Branner, J. C. (1902). Geology along the Pernambuco coast south of Recife. *Boletim de Geologia da Sociedade Americana*, 13, 58–92.
- Brown, A. C., & McLachlan, A. (1990). *Ecology of sandy shores*. Amsterdam: Elsevier.
- Bujan, N., COX, R., & Masselink, G. (2019). Da areia fina aos pedregulhos: examinando a relação entre a inclinação da praia e o tamanho dos sedimentos. *Geologia Marinha*, 417, 106012.
- Calliari, L.J. & Klein, A.H.F. (1993). Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, v. 20, n. 1, p. 48-56.
- Calliari, L.J.; Muehe, D.; Hoefel, F.G.; TOLDO Jr., E. (2003). Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 51, p. 63-78.
- Camargo, M. G. (2006). Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista Brasileira de Geociências*, 345–352.
- Campbell, D. F. (1949). Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão basin. Belém: PETROBRÁS.
- Carter, R. W. G. (1986). The morphodynamics of beach ridge formation: Magilligan, Northern Ireland. *Marine Geology*.
- Carvalho, R. C., & Woodroffe, C. D. (2020). Surficial sediment data from the Shoalhaven River delta: Bed channel and adjacent beach. *Data in Brief*, 31, 105813¹.
- Clark, J. R. (1996). *Coastal Zone Management Handbook*. CRC PRESS, 694p. Boca Raton. (ISBN: 1566700922) .
- Czizewski, A., Pimenta, F. M., Saavedra, O. R. Numerical modeling of Maranhão Gulf tidal circulation and power density distribution. *Ocean Dynamics* 70, 667–682 2020. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01354-8>.
- Davies, J. L. (1964). A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie, Mortensen Sonderheft*, 127-142³.
- Davies, R., Speldewinde, P. C., Stewart, B. A. (2016). Low Level Off-Road Vehicle (ORV) Traffic Negatively Impacts Macroinvertebrate Assemblages at Sandy Beaches in South-Western Australia. *Scientific Reports*, 6, doi 10.1038/SREP24899⁴.
- Davis JR., R. A., & Fitzgerald, D. M. (2004). *Beaches and Coasts*. 1^a ED. Blackwell Publishing, 419p⁵.
- DaviS, R. A., & HAYES, M. O. (1984). What is a wave dominated coast? *Marine Geology*, 60, 313-329.
- Dias, J. M. A. (2004). A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (uma introdução à oceanografia geológica). E-book disponível em: ⁶ https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/OUEI/SedimB_AG.pdf
- Dillenburg, S. R., & HESP, P. A. (2009). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. 1^a ed. Heidelberg: Springer, 380p.
- Dillenburg, S. R., ROY, P. S., cowell, P. J., & Tomazelli, L. J. (2000). Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the

- shoreface translation-barrier model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16, 71-81.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação. (2004). Tábua das Marés para o Porto de Suape (Estado de Pernambuco). Disponível em: ⁷ <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br>
- Duane, D. B. (1964). Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34(4), 864-874.
- Emery, K. O. (1978). Grain size in laminae of beach sand. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48(4), 1203-1212.
- Fenster, M. S., Dolan, R., & Smith, J. J. (2016). Grain-size distributions and coastal morphodynamics along the southern Maryland and Virginia barrier islands. *Sedimentology*, 63, 809-823.
- Ferreira, M. S. (2018). Morfodinâmica da Praia da Ponta da Areia, São Luís-MA. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão- UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia.
- Figueiredo, S. A., & Calliari, L. J. (2006). Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes às desembocaduras do Rio Grande do Sul. *Gravel (Porto Alegre)*, 4, 73-87.
- Figueiredo, S. A., Cowell, P. J., & Short, A. D. (2007). Intermittent beach discharge to the surfzone: modes and geomorphological implications. *Journal of Coastal Research*, SI 50, 610-614.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos river bar: study and significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 03-26.
- Franco, J. B. (2018). Caracterização Morfodinâmica das Praias Oceânicas da Ilha do Maranhão. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal Do Maranhão- UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia.
- HESP, P. (2006). Sand Beach Ridges: Definition and Re-Definition. *Journal Coastal Research*, SI 39, 72-75.
- Hoefel, F.G. (1998). Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica. Itajaí: Editora da UNIVALI. 91 p.
- Horn Filho, N. O. (2006). Granulometria das praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC. *Gravel*, 4, 1-21.
- Ijzendoorn, C. O., Hallin, C., Cohn, N., Reniers, A. J. H. M., & De Vries, S. (2022). Novel sediment sampling method provides new insights into vertical grain size variability due to marine and aeolian beach processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 48(4), 782-800.
- Ijzendoorn, C. O., Hallin, C., Reniers, A. J. H. M., & De Vries, S. (2023). Modeling multi-fraction coastal aeolian sediment transport with horizontal and vertical grain-size variability. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 128, e2023JF007155.
- Karlonienė, D., Pupienis, D., Jarmalavičius, D., Dubikaltienė, A., & Žilinskas, G. (2021). Lithological and geochemical analyses of sandy beach sediments of different geological frameworks: the south-eastern Baltic Sea (Lithuania). *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 279¹
- Kuai, Y., Aarninkhof, S. G. J., & Wang, Z. (2023). Diagnostic modeling of the shoreline variation along the Jiangsu Coast, China. Retrieved from here ²
- Lima, L. G., Albuquerque, S., Cerveira, G., Parise, C. K., Ferreira, M. S., & Franco, B. J. (2020). Estratigrafia e Evolução de Um Esporão Arenoso em Ambiente de Macromaré: Ponta da Areia - São Luís - Maranhão - Brasil. *Geociências (São Paulo. Online)*, 39, 997-1008.
- Marino, M. T. R. D., Freire, G. S. S., & Horn Filho, N. O. (2013). Variações Granulométricas ao Longo da Costa da Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 13, 267-282.
- Martins, L. R. (1965). Significance of Skewness and Kurtosis In Environmental Interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 35(1), 768-770.
- Martins, L. R. (2003). Recent Sediments and Grain size analysis. *Revista Gravel, Porto Alegre*, 1, 90-105.
- Masselink, G., & Short, A. D. (1993). The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal Coastal Research*, 9, 785-800.
- Masselink, G., & Hughes, A. (2003). Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Hodder Headline Group, London, 11-14.
- May, J. P., & TanneR, W. F. (1973). The litoral power gradient and shoreline changes. In Coates, D. R. (Ed.), *Coastal Geomorphology*. State Univ. New York, Binghampton, 436p.

- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. 2ª ED. –UK: Jonh Wiley & Sons Ltd. 419p.
- Oliveira, U. R., Parizotto, B., Horn Filho, N. O., & Bonetti Filho, J. (2012). Setorização Morfossedimentar das Praias Arenosas da Ilha de Santa Catarina (SC) Utilizando Técnicas de Análise Multivariada. *Gravel* (Porto Alegre), 10, 1-11.
- Paschoaleti, D. M. Modelagem numérica hidrodinâmica para apoio a operações portuárias: estudo de caso da Baía de São Marcos - MA. Dissertação (Instituto de Oceanográfico) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.
- Pereira, D. M.; Moreno, T. G.; Guimarães, W. B. D.; LimA, L. G. (2014). Avaliação Preliminar da Proveniência Sedimentar das Praias Oceânicas de São Luís-MA. In: *Anais XXVI Congresso Nacional de Oceanografia*, Itajaí-SC.
- Perera, U. L. H. P.; Ratnayake, A. S.; Weerasingha, W. A. D. B. (2023). Grain size distribution of modern beach sediments in Sri Lanka. *Anthropocene Coasts*, 6, 10.
- Prata, P. M.; Albino, J. (2005). Variação das Diversas Frações Granulométricas das Areias da Praia de Camburi, Vitória - ES Após Engordamento Artificial. IN: *Anais do X Congresso da Abequa*. V. 1.
- Priskin, J. (2003). Physical Impacts of Four-Wheel Drive Related Tourism and Recreation In A Semi-Arid, Natural Coastal Environment. *Ocean & Coastal Management*, 46, 127-155
- Quadros, E. A. de S. (2016). Caracterização Do Clima De Ondas Na Plataforma Continental Do Maranhão E Região Oceânica Adjacente Por Meio De Modelagem Numérica. Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão- UFMA, Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia, 48p.
- Rebello-Mochel, F.; Cutrim, M. V. J.; Ferreira-Correia, M. M.; Ibañez, M. S. R.; Azevedo, A. C. G.; Oliveira, V. M.; Pessoa, C. R. D.; Maia, D. C.; Silveira, P. C.; Ibañez-RojaS, M. O. A.; Pacheco, C. M.; Costa, C. F. M.; Silva, L. M.; Puiseck, A. M. B. (2001). Degradação dos Manguezais na Ilha de São Luís (MA): Processos Naturais e Impactos Antrópicos. In: *Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 113-131.
- Reinson, G. E. (1992). Transgressive barrier island and estuarine systems. In: *Facies Models Response to Sea Level Change*. Geological Association of Canada Publications, 179–194.
- Reis, B. L. R. (2021). Regime e Variabilidade de Ondas Superficiais de Gravidade na região do Oceano Atlântico Equatorial Ocidental adjacente ao Litoral Maranhense. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA.
- Reis, L. R., Parise, C. K., Correia, G.S. Lima, L.G., Perotto, H., Bose, N. A., Mendonça, L. F. F. (no prelo) The Bimodal Regime of Ocean Waves and Winds Offshore the Continental Shelf of Maranhão. *Regional Studies in Marine Science*. No prelo.
- Rocha-Barreira, C. A. (2004). Distribuição espacial de Olivancillaria vesica auricularia (Lamarck, 1810) (Mollusca, Gastropoda, Olividae) e suas alterações em função da deposição de lama na praia do Cassino, Rio Grande do Sul, Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Oceanografia*, 2004, Itajaí. Livro de resumos. Itajaí: Universidade do Vale do Itajai, 2-20.
- Rodrigues, T. L. N. et al. (1994). Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Luís. Folha SA.23-Z-A, Cururupu. Folha SA.23-X-C, Estado do Maranhão. Brasília, CPRM.
- Rosati, J. D. (2005). Concepts in Sediment Budgets. *Journal of Coastal Research*, 21(2), 307-322.
- Rossetti, D. F. (2006). Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP Série científica*, São Paulo, 6, 7-18.
- Roy, P. S., Cowell, P. J., Ferland, M. A., & Thom, B. G. (1994). Wave Dominated Coasts. In: *Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 121-186.
- Schlacher, T. A., & Thompson, L. M. C. (2008). Physical impacts caused by off-road vehicles to sandy beaches: spatial quantification of car tracks on an Australian barrier island. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 234-242.
- Short, A. D. (1999). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K., New York, NY, U.S.A. 379p.
- Hort, A. D. (1991). Macro-meso tidal beach morphodynamics-an overview. *Journal of Coastal Research*, 7, 417-436.

- Stephenson, G. (1999). Vehicle impacts on the biota of sandy beaches and coastal dunes: a review from a New Zealand perspective. *Science for Conservation*, 121. Wellington, New Zealand Department of Conservation, 48 p.
- Sugio, K. (1980). Rochas sedimentares: propriedades, gênese e importância econômica. São Paulo: Edgard Blücher, 500p.
- Sugio, K., Angulo, R. J., Carvalho, A. M., Corrêa, I. C. S., Tomazelli, L. J. E., & Vital, H. (2005). Paleoníveis do Mar e Paleolinhas de Costa. In Sugio et al. (Eds.), *Quaternário do Brasil* (pp. 114-129). Holos Editora.
- Veiga Júnior, J. P. (2000). Programa Levantamentos Geológicos Básicos Do Brasil. São Luís NE/SE, Folhas SA.23-X E SA.23-Z. Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500,000. Brasília: CPRM.
- Warrick, J. A., Vos, K., EAST, A. E., et al. (2022). Fire (plus) flood (equals) beach: coastal response to an exceptional river sediment discharge event. *Scientific Reports*, 12, 3848. DOI: 10.1038/s41598-022-07209-0
- Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A Synthesis. *Marine Geology*, 56(1-4), 93-118.
- Wright, L. D., & Short, A. D. (1983). Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In P. D. Komar (Ed.), *Handbook of Coastal Process and Erosion* (pp. 35-66). CRC Press.
- Wright, L. D., Nielsen, P., Short, A. D., & Green, M. O. (1982). Morphodynamics of a Macrotidal Beach. *Marine Geology*, 50, 97-128.
- Zuraida, R., Adhirana, I., LATTUPUTTY, G., Hernawan, U., Gustiantini, L., Hasanah, I., Alam, M., & Prasetyo, F. B. (2021). Characteristics and Depositional Processes of Coastal and Marine Sediments of The Northern Part of Obi Island, Molucca. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 750(1), 012040.