



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS

PAULA GILYANE DA SILVA LIMA

**CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E SUBSÍDIOS PARA ESTUDOS DE  
DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR DE ESTUÁRIOS  
AMAZÔNICOS DOMINADOS POR MARÉ**

BRAGANÇA – PARÁ  
2024

PAULA GILYANE DA SILVA LIMA

**CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E SUBSÍDIOS PARA ESTUDOS DE  
DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR DE ESTUÁRIOS  
AMAZÔNICOS DOMINADOS POR MARÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito para obtenção de grau de Licenciado em Ciências Naturais, pela Faculdade de Ciências Naturais, do Instituto de Estudos Costeiros, da Universidade Federal do Pará, campus de Bragança.

Orientador: Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto

Co-orientadora: Dra. Ariane M. M. da Silva

PAULA GILYANE DA SILVA LIMA

**CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E SUBSÍDIOS PARA ESTUDOS DE  
DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR DE ESTUÁRIOS  
AMAZÔNICOS DOMINADOS POR MARÉ**

Este trabalho foi julgado para a obtenção de Grau de Licenciado em Ciências Naturais, do Curso de Licenciatura Plena em Ciências Naturais, da Universidade Federal do Pará, Campus de Bragança.

Data da aprovação: 21/06/2024

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto (Orientador)  
IECOS, UFPA, Campus de Bragança

---

Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva (Titular)  
IECOS, UFPA, Campus de Bragança

---

Dra. Luciane de Carvalho Nogueira (Titular)  
PPBA/IECOS, UFPA, Campus de Bragança

BRAGANÇA – PA  
2024

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto obrigada pelos ensinamentos, confiança e paciência ao longo desses anos. Por ter se disponibilizado a auxiliar das mais diversas formas para realização e finalização deste trabalho. Meu muito obrigado!

A minha co-orientadora Ariane Maria Marques da Silva por tudo que me ensinou desde que nos conhecemos, mesmo antes de me orientar, pela paciência em me auxiliar mesmo tendo que repetir a mesma coisa 10 vezes, por ter aceitado me coorientar, por ter me acolhido desde o começo e cuidado de mim. Meu muito obrigada!

Agradeço as figuras mais importantes da minha existência, minha mãe Daniela Yane, aos meus irmãos Paulo Victor, Paula Vytória e Grazyela Jorlyane, a minha avó Maria das Graças, e em memória do meu avô José Antônio pelo suporte incalculável ao longo de toda minha vida, pelos momentos de descontração, pelo amor, dedicação e por tudo que me proporcionaram nesses anos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de iniciação científica durante o desenvolvimento da pesquisa. A Universidade Federal do Pará, ao Laboratório de Geologia Costeira pela estrutura, pelo espaço físico, pelos equipamentos utilizados durante esta etapa e aos amigos feitos nele, em especial a Ellyda Beatriz, obrigada pela ajuda em coletas e nas conversas abastecidas de muitas risadas.

A todos os amigos que compartilharam desta etapa, em especial a Larissa Fernanda pelos vários momentos de descontração e conversas, seja por chamada de vídeo ou nos infinitos áudios e por todo amor que me deu. E a minha dupla no decorrer desses anos, Erik Daniel por ter permanecido do meu lado e me apoiado principalmente no decorrer do curso, por ter tornado mais fácil essa jornada trazendo leveza e cumplicidade. Vocês foram imprescindíveis para a finalização desta etapa! E finalmente por todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para conclusão dessa etapa. Este trabalho também é de vocês!

## RESUMO

Os estuários amazônicos são importantes no âmbito científico, socioambiental e ecológico, devido às suas características únicas, como o regime de macromarés e fortes correntes. Embora os estuários atuem como armadilhas eficientes de sedimentos, os rios locais transportam quantidades relativamente pequenas de sedimentos em suspensão. Os processos de transporte de sedimentos e matéria orgânica particulada nesses estuários são influenciados especialmente por fatores físicos, como hidrodinâmica fluvial-oceânica. Este trabalho investigou os aspectos sedimentológicos e caracterizou a matéria orgânica sedimentar de três estuários amazônicos: Mocajuba, Caeté e Gurupi, além da área da plataforma interna adjacente a estes estuários. Amostras de sedimentos superficiais de fundo foram coletadas ao longo da área de estudo. Posteriormente, as amostras foram pesadas, lavadas com água e tratadas com peróxido de hidrogênio para eliminar sais e quantificar a matéria orgânica. Os resultados revelaram predominância de sedimentos arenosos nas amostras coletadas na Plataforma Continental Amazônica, além de serem classificados como bem selecionados. As amostras coletadas nos estuários apresentaram predominantemente sedimentos siltsos. A distribuição dos sedimentos nos estuários refletiu a interação entre os fatores ambientais, como as áreas de manguezais adjacentes, além da contribuição de sedimentos finos da pluma do Amazonas. Os sedimentos estuarinos foram classificados como pobremente selecionados e isso destacou a complexidade dos processos de transporte e deposição. A distribuição assimétrica dos sedimentos nas amostras proporcionou compreensão adicional da distribuição granulométrica, indicando a predominância de sedimentos finos ou grossos em resposta à dinâmica do transporte sedimentar e condições locais. A análise da matéria orgânica forneceu *insights* sobre a granulometria, especialmente relacionados aos sedimentos lamosos. Os resultados destacaram a importância da análise granulométrica e da matéria orgânica na compreensão dos processos sedimentares em estuários amazônicos, fornecendo informações cruciais para estudos futuros sobre erosão, deposição e impactos ambientais.

**Palavras-chave:** zona costeira amazônica; dinâmica sedimentar; sedimentologia.

## ABSTRACT

Amazon estuaries are important in scientific, socio-environmental and ecological aspects, due to their unique characteristics, such as the macrotidal regime and strong tidal currents. Although estuaries act as efficient sediment traps, local rivers transport relatively small amounts of suspended sediment. Sediment transport processes in these estuaries are influenced especially by physical factors, such as river-ocean hydrodynamics. This work investigated the sedimentological aspects of three Amazonian estuaries: Mocajuba, Caeté and Gurupi, and also in the continental inner shelf area adjacent to these estuaries. Bottom surface sediment samples were collected throughout the study area. Subsequently, the samples were weighed, washed with water and treated with hydrogen peroxide to eliminate salts and quantify organic matter. The results revealed a predominance of sandy sediments in the samples collected on the Amazon Continental Shelf, being classified as well sorted. The samples collected in estuaries predominantly showed silty sediments. The distribution of sediments in the estuaries reflected the interaction between environmental factors, such as adjacent mangrove areas, in addition to the contribution of fine sediments from the Amazon River plume. Estuarine sediments were classified as poorly sorted, and this highlighted the complexity of transport and deposition processes. The asymmetric distribution of sediments in the samples provided additional understanding of the granulometric distribution, indicating the predominance of fine or coarse sediments in response to the dynamics of sediment transport and local conditions. Organic matter analysis provided insights into granulometry, especially related to muddy sediments. The results highlighted the importance of particle size and organic matter analysis in understanding sedimentary processes in Amazonian estuaries, providing crucial information for future studies on erosion, deposition and environmental impacts.

**Keywords:** Amazon coastal zone; sedimentary dynamics; sedimentology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do estuário do rio Mocajuba.....	6
Figura 2: Mapa de localização do estuário do rio Caeté.....	7
Figura 3: Mapa de localização do estuário do rio Gurupi. ....	9
Figura 4: Imagens que retratam algumas das amostras coletadas durante o trabalho. Em (a) uma amostra coletada no estuário do rio Mocajuba. Em (b) e (c) amostras coletadas na área de plataforma continental interna. ....	10
Figura 5: Processo de tratamento das amostras com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> para eliminação de M.O.....	11

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros das amostragens, onde as amostras de 1P a 6P são referentes a Plataforma Continental Amazônica, 1M a 4M do estuário do rio Mocajuba, 1C do estuário do rio Caeté e 1G e 2G ao estuário do rio Gurupi.....	19
--	----

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iv
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	vii
CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 INTRODUÇÃO .....	1
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.4.1 OBJETIVO GERAL .....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.5 MATERIAL E MÉTODOS .....	5
1.5.1 Área de estudo .....	5
1.5.2 Zona Costeira Amazônica .....	5
1.5.3 Estuário do rio Mocajuba .....	5
1.5.4 Estuário do rio Caeté .....	7
1.5.5 Estuário do rio Gurupi .....	8
1.5.6 Plataforma Continental Amazônica (PCA) .....	9
1.5.7 Metodologia .....	10
CAPÍTULO II – RESULTADOS .....	12
CAPÍTULO III – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	25
REFERÊNCIAS GERAIS .....	25

## CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1 APRESENTAÇÃO

O presente documento consiste em um Trabalho de Curso (TC) apresentado como requisito à obtenção do grau de Licenciado (a) em Ciências Naturais da Universidade Federal do Pará (UFPA). O TC foi redigido por Paula Gilyane da Silva Lima (matrícula: 202012240004), orientada pelo Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto e co-orientada pela Dra. Ariane Maria Marques da Silva.

O TC foi fundamentado considerando três estuários amazônicos e a área de plataforma continental interna adjacente. As amostras analisadas constituem um gradiente de distância da foz do rio Amazonas e um gradiente de tamanho das bacias de drenagens, incluindo também alguns pontos da área de plataforma.

O TC foi elaborado no formato de capítulos com inclusão de um manuscrito, composto por três capítulos. O primeiro capítulo faz uma abordagem geral do tema, apresentando os tópicos de Introdução, Objetivos e Metodologia. O segundo capítulo descreve os resultados obtidos durante a pesquisa, sendo estes apresentados na forma de manuscrito, visando a posterior submissão e publicação em periódico nacional. Finalmente, o capítulo três apresenta as considerações finais gerais.

### 1.2 INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes costeiros de relevância científica, socioambiental e ecológica (GOMES et al. 2020). Os estuários amazônicos, no geral, apresentam algumas características em comum, como por exemplo, o regime de macromarés, fortes correntes de maré e ventos alísios, resultando em altas condições hidrodinâmicas (MEADE *et al.*, 1985; GEYER *et al.*, 1996; PEREIRA *et al.*, 2009).

Espaços deposicionais são definidos pela sua estrutura, textura, resquílios biogênicos, mineralogia e geometria particulares, em razão as particularidades dos processos físicos, biológicos e químicos que atuam para produzir o espaço deposicional (SAWAKUCHI & GIANNINI, 2006). O ambiente sedimentar formado consegue, portanto, armazenar registros da evolução desse ambiente e do desempenho da sua atual dinâmica, fornecendo subsídio para tentar entender a origem do material, como foi transportado e a própria descrição do espaço deposicional, e assim tentando entender melhor as ações que vem acontecendo e as associações ecológicas da área.

Assim, a composição e a textura dos sedimentos conseguem guiar o entendimento dos processos naturais do lugar analisado. Nesse parâmetro, acrescenta-se análises sobre a distribuição e as características da matéria orgânica nos sedimentos. Os principais constituintes dos sedimentos são minerais como argilas, silicatos não argilosos, carbonatos e a matéria orgânica em decomposição (WETZEL, 1983). E a composição orgânica é muito sensível a várias causas que conduzem os processos de deposição assim, a matéria orgânica se torna explicativa quando é relacionada com outras características da composição dos sedimentos (BADER, 1955).

A classificação textural e descrição dos sedimentos envolve três parâmetros principais: tamanho médio, assimetria e seleção (FOLK, 1954). O tamanho médio, ou diâmetro médio, é o parâmetro mais utilizado na sedimentologia. Muitos autores consideram esse parâmetro como um indicador da energia média de transporte e como agente de sedimentação. Além disso, o tamanho médio varia em função dos materiais disponíveis e da quantidade de energia impactada no sedimento (FOLK & WARD, 1957; SIVASAMANDY & RAMESH, 2014).

O grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. Em uma distribuição simétrica, o diâmetro médio e a mediana coincidem e dessa forma não existindo uma assimetria. Se a assimetria for negativa, a média será menor que a mediana e a distribuição é desviada para os valores igual ou menores que 0 sendo para as partículas grosseiras. Por outro lado, se a assimetria for positiva os valores são maiores que 0, sendo para as partículas mais finas (FOLK 1954, SIVASAMANDY & RAMESH, 2014).

O grau de seleção é medido por meio do desvio padrão ( $\sigma$ ) e indica as variações nas condições energéticas do ambiente, isto é, as velocidades de correntes e os agentes deposicionais (RAMANATHAN *et al.*, 2009, AZIDANE *et al.*, 2021). Sedimentos bem selecionados implicam em grãos com pequena dispersão dos seus valores granulométricos. Com o aumento do transporte ou da agitação do meio as partículas de diferentes tamanhos tendem a ser separadas por tamanho (NICHOLS, 2009).

Os parâmetros estatísticos relacionados à caracterização granulométrica são a base para os critérios de classificação dos ambientes sob o ponto de vista sedimentar. O tamanho dos grãos depende da natureza das rochas e dos agentes de transporte atuantes, refletindo os mecanismos de erosão e deposição no ambiente (AZIDANE *et al.*, 2021).

Folk e Ward (1957) sugerem que uma escala qualitativa seja usada convenientemente para descrição de grau de seleção de sedimentos, que apresenta os seguintes limites:  $\sigma$  menor que 0,35 = muito bem selecionado; 0,35 a 0,50 = bem selecionado; 0,50 a 1,00 = moderadamente bem selecionado; 1,00 a 2,00 = pobremente selecionado; 2,00 a 4,00 = muito

pobrememente selecionado. O grau de seleção pode depender consideravelmente do modo de transporte do sedimento.

Os gráficos bivariados entre os parâmetros granulométricos são relevantes para a interpretação das condições energéticas do ambiente (ambientes de alta ou baixa energia), bem como a caracterização das condições e modos de transporte e deposição dos sedimentos (GANESH *et al.*, 2013).

O processo sedimentar que ocorre perto da costa caracteriza a mudança do âmbito terrestre e oceânico, na qual a relação desses âmbitos resulta em sistemas sedimentares únicos (ASP *et al.*, 2022). O sedimento conserva substâncias proveniente da coluna d'água como também processa novamente as substâncias, sendo capaz de disponibilizar outra vez em solução, conforme alterações nas condições ambientais (SOUZA *et al.*, 2018).

Nos sedimentos a matéria orgânica (M.O.) exibe propriedades peculiares como a absorção de íons traço, que gera o bloqueio e a diminuição de seus níveis de valência com alterações nas suas características químicas. A constituição da M.O. é principalmente por substâncias húmicas, que é gerada pela deterioração química e enzimática dos vestígios de plantas e animais e por conta da atuação sintética de microrganismos (RESENDE, 2015).

O transporte de sedimentos em estuários é controlado, substancialmente, por processos físicos, como a hidrodinâmica fluvial-oceânica (HU *et al.*, 2019). Ao longo do transporte, a granulometria dos sedimentos sofre modificações devido aos ciclos de deposição, ressuspensão e pelo próprio transporte (NICHOLS, 1986). Considerando a Zona Costeira Amazônica, sabe-se que os estuários são eficientes armadilhas de sedimentos (ASP *et al.*, 2013, 2016), e que os rios locais transportam pequenas quantidades de sedimentos em suspensão (DILLENBURG *et al.*, 2009).

Desta forma, questiona-se a dinâmica sedimentar dos estuários do setor leste da zona costeira amazônica no que se refere aos processos de transporte, deposição e acúmulo de sedimentos finos, incluindo a caracterização da M.O. presente nos sedimentos estuarinos e da área de plataforma continental interna adjacente.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os estuários amazônicos têm ganhado cada vez mais relevância no âmbito científico, uma vez que os conhecimentos das particularidades de cada estuário vêm colaborando para compreender o funcionamento da Zona Costeira Amazônica (ASP *et al.*, 2013, 2016, 2018, COSTA *et al.*, 2013, MENEZES *et al.*, 2013, ROLLNIC & ROSÁRIO *et al.*, 2013,

RODRIGUES *et al.*, 2018, XAVIER *et al.*, 2020, GOMES *et al.*, 2021, YU *et al.*, 2022, SILVA, 2024). Na ZCA há a presença da pluma do rio Amazonas que tem uma forte atuação nos processos costeiros, sendo uma fonte sedimentar fundamental para os manguezais e estuários da região (e.g. DILLENBURG *et al.*, 2009, ASP *et al.*, 2018, GOMES *et al.*, 2021).

Estudos recentes têm evidenciado a caracterização granulométrica como uma ferramenta bastante útil para a compreensão da dinâmica de ambientes costeiros (BONETTI *et al.*, 2007; BRITO *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2021). Neste trabalho, a análise granulométrica foi realizada em pelo menos três pontos em cada estuário (Mocajuba, Caeté e Gurupi), compondo um gradiente transversal, considerando a zona de convergência de transporte e as áreas à montante e a jusante desta. Além disso, os estuários avaliados também compõem um gradiente longitudinal da foz do rio Amazonas e sua pluma, visando investigar a influência de sedimentos finos, especialmente silte, provenientes do rio Amazonas.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GERAL**

A proposta do presente trabalho é identificar as características físicas dos sedimentos de fundo de três estuários do setor leste da zona costeira amazônica, considerando as zonas de convergência de transporte e áreas à montante e à jusante desta, a fim de se compreender o processo de transporte e mistura de sedimentos de fontes continentais e marinhas.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar as características composicionais das amostras no que se refere as propriedades texturais e o teor de matéria orgânica;
- Inferir a partir dos resultados o papel do suprimento local, do transporte do rio e da interação com o rio Amazonas e os efeitos de maré na sedimentologia;
- Preservar um banco de amostras para futuras análises para estudos de proveniência e/ou background de elementos e substâncias para estudos mais avançados relacionados às análises biogeoquímicas e geoquímicas.

## **1.5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.5.1 Área de estudo**

#### **1.5.2 Zona Costeira Amazônica**

A Zona Costeira Amazônica (ZCA), localizada entre o Cabo Orange (Amapá) e a Ponta de Tubarão (Maranhão), tem 1.200 km de extensão, abrangendo 23 estuários e 30 bacias hidrográficas (SOUZA-FILHO *et al.*, 2005). Além disso, a ZCA apresenta a maior faixa contínua de manguezais do mundo, com área de ~8 mil km<sup>2</sup> e 480 km de extensão no setor leste da Zona Costeira Amazônica (SOUZA-FILHO, 2005).

A bacia da Zona Costeira Amazônica é fruto de eventos tectônicos ocorridos em sua maioria no Triássico Superior ao Cretáceo Inferior, através do desenvolvimento de falhas e grabens no curso NW-SE (BATISTA; SOUZA-FILHO; SILVEIRA, 2009). A Zona Costeira Amazônica é atrelada ao desenvolvimento estrutural-sedimentar das bacias Pará-Maranhão e Bragança-Viseu (SOUZA-FILHO, 2000; DILLENBURG *et al.*, 2009).

Com o estado avançado do abastecimento sedimentar, os estuários da região são pouco profundos e controlados por fricção (ASP *et al.*, 2012). Raramente, estes estuários manifestam canais profundos, mesmo com a amplitude de marés (ASP *et al.*, 2013), dando-se que estes estuários profundos caracterizam uma morfologia herdada da sua evolução tectônica (PRITCHARD, 1967; VALLE-LEVINSON, 2010). A ZCA possui altas concentrações de sedimentos em suspensão, especialmente do rio Amazonas em distintos períodos (ASP *et al.*, 2018), incluindo a pluma do rio Amazonas (NITTROUER *et al.*, 1995; GEYER *et al.*, 1996; ASP *et al.*, 2018, 2022; GOMES *et al.*, 2021).

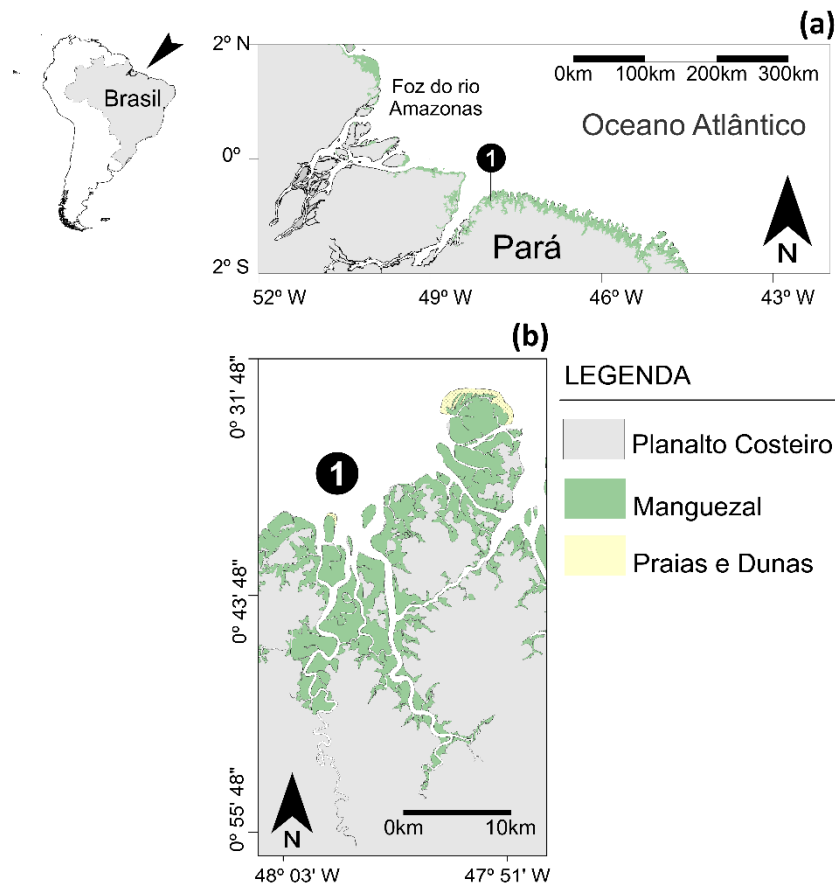
O rio Amazonas lança material sólido que fornece importantes depósitos sedimentares lamosos na Plataforma Continental Interna do Amazonas, assim estabelecendo um meio altamente distinto em relação a outros ambientes costeiros do mundo, criando um grande mosaico de sedimentos de fundo, oscilando entre areia e lama cheia de matéria orgânica (COTA, 2022). E dentre os diversos ambientes de sedimentação costeira encontrados na ZCA, encontram-se os estuários dos rios Mocajuba, Caeté e Gurupí alvos do presente trabalho.

#### **1.5.3 Estuário do rio Mocajuba**

O estuário do rio Mocajuba localiza-se no município de Curuçá (PA), a aproximadamente 140 km da capital Belém, fazendo parte da mesorregião do nordeste paraense e da microrregião do Salgado (TELES *et al.*, 2016). O estuário do rio Mocajuba se localiza entre 0° 40' S e 0° 53'

S e entre 47° 53' W e 47° 59,3' W no leste da costa amazônica (Figura 1). O rio Mocajuba tem uma bacia de drenagem de 323 km<sup>2</sup> sua vazão média é de ~8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (MARTINS *et al.*, 2007; ASP *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023). Classificado como um estuário dominado por marés, o Mocajuba possui uma amplitude de maré maior que 5 m no decorrer das marés de sizígia (ASP *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023).

Figura 1: Mapa de localização do estuário do rio Mocajuba.



Fonte: Silva (2024).

A geologia característica da região é constituída por rochas sedimentares clásticas lateritizadas da Formação Barreiras, com ambientes sedimentares como praias (SILVA *et al.*, 2009). Seu relevo característico é uma zona costeira baixa, ladeada por planícies argilosas, constantemente drenadas por canais de marés. Ao norte encontra-se planícies fluvio-marinhas, ao sul e sudeste há um planalto rebaixado da Amazônia (SENA *et al.*, 2006). Seu solo é do tipo latossolo amarelo com propriedades de textura média, concrecionário laterítico e solos de mangue (SILVA *et al.*, 2023; TRINDADE *et al.*, 2020).

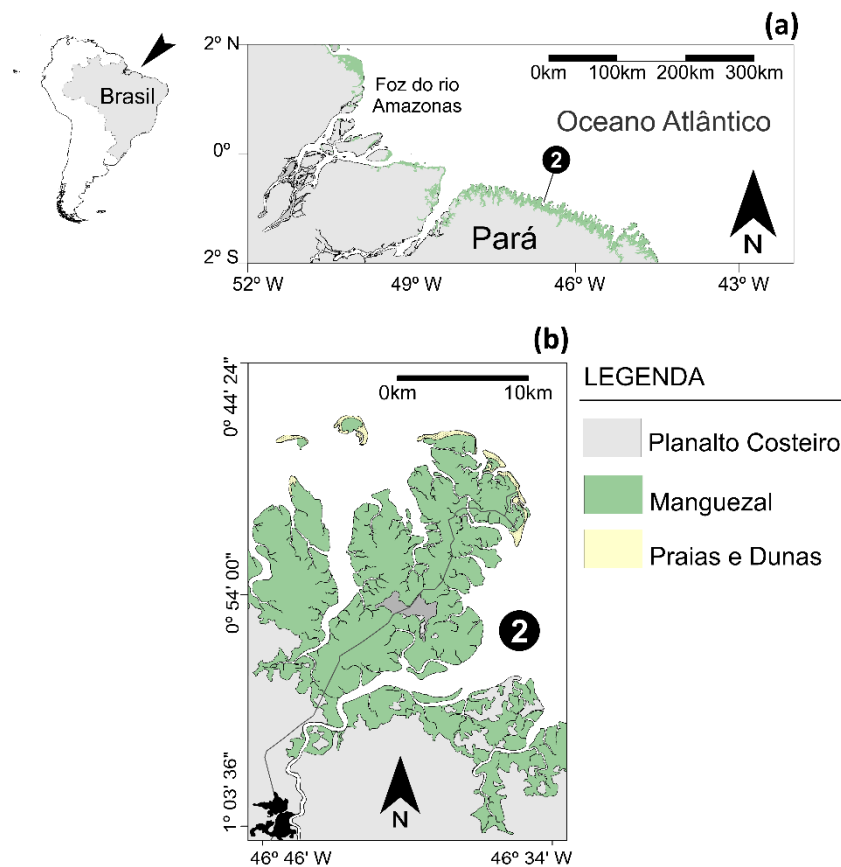
Sua vegetação apresenta uma floresta secundária, que é o produto do processo natural de regeneração da vegetação (TRINDADE & AGUIAR 2020), possuindo espécies características que se estendem por ~116 km<sup>2</sup> ao decorrer do estuário. Em regiões mais elevadas verifica-se

maior incidência das espécies *Rhizophora mangle* (L.) e *Avicennia germinans* (L.), e em menores quantidades ocorre de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e marismas (*Spartina spp*) (PEREIRA *et al.*, 2007).

#### 1.5.4 Estuário do rio Caeté

O estuário do rio Caeté apresenta bacia de drenagem de  $\sim 2000 \text{ km}^2$  contendo o rio Caeté com uma área de  $100 \text{ km}^2$  (PEREIRA *et al.*, 2009; DILLENBURG *et al.*, 2009) (Figura 2). A vazão mensal do rio Caeté exhibe comportamento de oscilação similar ao regime de precipitação local, a média da vazão do rio é de  $41,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , variando até  $7,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $82,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  durante as estações seca e chuvosa, respectivamente (GOMES *et al.*, 2021).

Figura 2: Mapa de localização do estuário do rio Caeté.



Fonte: Silva (2024).

Sua bacia hidrográfica possui uma topografia baixa e leve, como resultado, no decorrer que a maré avança para dentro do estuário maior vai ser seu alcance. Seu canal principal detém um segmento em forma de W, com depressões médias maiores do que altura de maré. A região superior do estuário refere-se a um vale afogado, à medida que a região inferior é caracterizada como um estuário de planície costeira, onde advém a acumulação sedimentar (ASP *et al.*, 2018).

Oscilações na salinidade são observadas no estuário e concentrações de material particulado em suspensão e uma zona de turbidez máxima (ZTM) bem determinada (ASP *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2013). GOMES *et al.*, (2013) apontam que os responsáveis pelas correntes em relação as marés de sizígia e quadratura são a sazonalidade e a descarga do rio.

O estuário do rio Caeté possui florestas de manguezais bem desenvolvidas, construindo uma península de 166 km<sup>2</sup>, separada por canais de maré (LARA, 2003). A vegetação desse estuário apresenta florestas secundárias sobre o planalto costeiro e formações pioneiras caracterizando os manguezais, campos de herbáceas e arbustos pela planície costeira (SOUZA-FILHO & EL-ROBRINI 1996), *Rhizophora mangle* (L.), *Avicennia germinans* (L.) e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F como espécies predominantes (COHEN *et al.*, 1999).

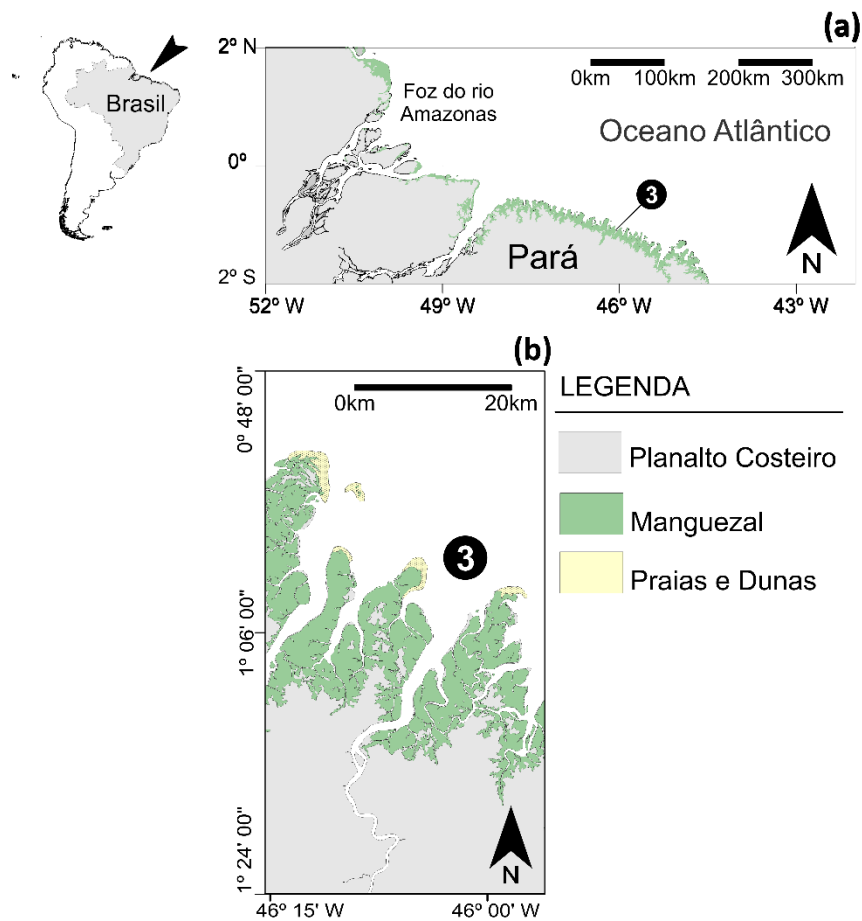
### 1.5.5 Estuário do rio Gurupi

Estabelecido na zona oriental da costa amazônica, o estuário do rio Gurupi é um rio de águas pretas situado entre 1°3'50''S e 1°51'50'' S e entre 45°57' W e 46°21' W (Figura 3). O estuário tem aproximadamente 480 km de extensão, uma faixa contínua de 7.600 km<sup>2</sup> de manguezais (SOUZA-FILHO, 2005), bacia de ~35.200 km<sup>2</sup>, sendo a extensão do rio de ~700 km (SILVA *et al.*, 2023).

O clima local é equatorial quente e úmido, o período chuvoso é estabelecido entre os meses de janeiro e abril, na qual sua precipitação é de 73% ao ano, ao passo que a estação seca acontece durante setembro e novembro (DILLENBURG *et al.*, 2009). Isso ocorre por causa da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MORAES *et al.*, 2005; DILLENBURG *et al.*, 2009).

A média anual de precipitação varia cerca de 2,3 e 2,8 mm e com uma vazão de 472 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, calcula-se que em período chuvoso a vazão seja 7 vezes maior em relação ao período seco (GOMES *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023).

Figura 3: Mapa de localização do estuário do rio Gurupi.



Fonte: Silva (2024).

Na região do Gurupi se observa um afloramento de rochas magmáticas e metamórficas misturadas em sedimentos fanerozóicos. O local é delineado pelo Cráton de São Luís ao norte-nordeste e pelo Cinturão Gurupi ao sul-sudeste. As áreas da bacia hidrográfica e do contorno do rio possuem baixo relevo, encontrado abaixo de 100 m de elevação. Porém, na cabeceira encontra-se a serra homônima na qual a elevação supera 450 m (GOMES, 2015).

### 1.5.6 Plataforma Continental Amazônica (PCA)

A plataforma Continental Amazônica é um local influenciado por processos terrestres da bacia do rio Amazonas e por processos oceanográficos, que atuam na sedimentação e na distribuição dos sedimentos. A Plataforma Continental Amazônica é resultado do preenchimento de uma bacia sedimentar, a bacia da Foz do Amazonas, sendo controlado por processos tectônicos, que no decorrer do tempo houve deposição e subsidência (ZALÁN, 2004). Pode se observar sedimentos do Cretáceo ao Holoceno, que se reiteram sobre o Pré-cambriano e/ou o restante da Bacia Paleozoica do Maranhão.

A pluma do rio Amazonas propaga-se por toda a Plataforma Continental Amazônica, o Amazonas descarrega bastante água doce que mescla com a água do oceano criando uma pluma de baixa salinidade (salinidade < 34) que se desloca para a região noroeste por conta da Corrente Norte do Brasil (SILVA *et al.*, 2010), e pela Corrente Norte Equatorial (SALISBURY *et al.*, 2011). A pluma do rio Amazonas carrega uma abundância de material sedimentar e orgânico dissolvidos que em conjunto com a dispersão da luz formam propriedades hidrofísicas que podem ser associadas a cor das águas (MOLLERI *et al.*, 2010; IOCCG, 2000). Cerca de 20% de toda descarga fluvial do mundo para o oceano é causada pelo rio Amazonas (MITSUYA, 2014). O padrão da pluma do rio Amazonas na região da foz é caracterizado pela ocorrência de sedimentos finos e com o decorrer do afastamento da foz aumenta os sedimentos tende a serem grosseiros, ao contrário que se nota na maior parte das plataformas continentais (ASP *et al.*, 2022).

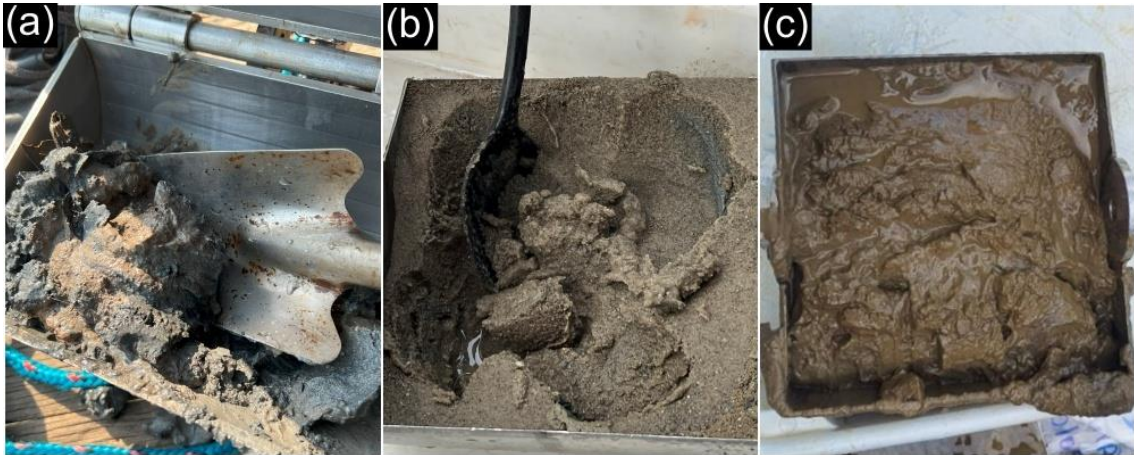
O rio Amazonas deságua no oceano e desta forma compõem uma faixa superficial com uma grossura volúvel de 10 a 20 m, que se desloca rumo ao continente. Se estendendo pela plataforma continental amazônica de 60 a 185km de largura na época seca e 80 a 230km na época de cheias, gerando uma estratificação vertical (GIBBS, 1970). O fornecimento sedimentar que o rio Amazonas gera para a plataforma continental é quantificado em 11 a  $13 \times 10^8$  t.ano<sup>-1</sup>, configurando um total de 10% de material sedimentar fluvial do planeta (MEADE *et al.*, 1985). A origem dos sedimentos transportados pelo rio Amazonas é de 97% de drenagem do Andes, 62% equivalem do rio Solimões pelo Andes peruanos e 35% do rio Madeira pelo Andes bolivianos (SEYLER & BOAVENTURA, 2001).

### 1.5.7 Metodologia

As amostras de sedimentos foram coletadas em todos os estuários mencionados, com uso de uma draga busca-fundo do tipo *Petersen*. Esta amostragem foi realizada em Dezembro de 2022, com acesso por via terrestre, se utilizando de pontes e trapiches para a amostragem. No caso da plataforma continental, as amostragens foram realizadas com o uso de uma draga busca-fundo do tipo *Shipek* a bordo do Navio de Ensino e Pesquisa Ciências do Mar II, em duas expedições distintas, em Fevereiro e Novembro de 2022. Baseado em trabalhos prévios (e.g., ASP *et al.* 2018; GOMES *et al.* 2021; SILVA *et al.* 2023), amostragem de sedimentos de fundo buscou avaliar a sedimentologia à montante, à jusante e na área de convergência de transporte. No total foram coletadas 7 amostras de sedimentos nos estuários, sendo 4 no estuário do

Mocajuba, 1 no estuário do Caeté e 2 no estuário do Gurupi. Na plataforma continental foram coletadas 6 amostras, totalizando 13 amostras avaliadas no presente trabalho.

Figura 4: Imagens que retratam algumas das amostras coletadas durante o trabalho. Em (a) uma amostra coletada no estuário do rio Mocajuba. Em (b) e (c) amostras coletadas na área de plataforma continental interna.



Em laboratório, as amostras de sedimento de fundo passaram por lavagem para dessalinização e foram secas em estufa para obtenção de peso seco bruto. De cada amostra foram retiradas subamostras para análises distintas. Para a quantificação de matéria orgânica, as amostras foram submetidas à oxidação por Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ), sendo realizada três imersões nas seguintes proporções de diluição: 30%, 50% e 100%, objetivando evitar perda de material.

Figura 5: Processo de tratamento das amostras com  $H_2O_2$  para eliminação de M.O.



Posteriormente, as amostras foram submetidas à análise granulométrica, utilizando um granulômetro a *laser* modelo CILAS 1190 LD. Os parâmetros estatísticos de distribuição e a classificação granulométrica foram obtidos mediante utilização de *software* Gradistat. Com o uso do *software* Surfer 13 foram gerados os mapas sedimentológicos (faciológicos).

## CAPÍTULO II – RESULTADOS

---

### MANUSCRITO

#### **Caracterização granulométrica e subsídios para estudos de distribuição da matéria orgânica sedimentar de estuários amazônicos dominados por maré**

---

Paula Gilyane da Silva Lima<sup>1</sup>, Ariane Maria Marques da Silva<sup>2</sup>, Nils Edvin Asp<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Naturais, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança/PA, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, PPGG/UFPA, Bragança/PA, Brasil.

<sup>3\*</sup> Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança/PA, Brasil.

#### **Resumo**

Os estuários amazônicos apresentam alguns aspectos semelhantes, resultantes da interação entre as condições hidrodinâmica, a geologia e geomorfologia. Dentre os estuários presentes na Zona Costeira Amazônica os estuários do Mocajuba, Caeté e Gurupi foram estudados neste trabalho, devido ao tamanho de suas bacias hidrográficas e do gradual distanciamento da influência da foz do rio Amazonas. Além disso, a área de plataforma interna adjacente aos estuários também foi investigada. A análise granulométrica dos sedimentos superficiais de fundo das amostras coletadas evidenciou a predominância de sedimentos arenosos na área de plataforma e sedimentos lamosos nos estuários. Os resultados destacaram a importância da análise granulométrica e da matéria orgânica na compreensão dos processos sedimentares em estuários amazônicos, fornecendo informações cruciais para estudos futuros sobre erosão, deposição e impactos ambientais.

**Palavras-chave:** dinâmica sedimentar; zona costeira amazônica; sedimentos em suspensão; zona de turbidez máxima.

#### **Abstract**

The Amazon estuaries present some similar aspects, resulting from the interaction between hydrodynamic conditions, geology and geomorphology. Among the estuaries present in the Amazon Coastal Zone, the Mocajuba, Caeté and Gurupi estuaries were studied in this work, due to the size of their river basins and the gradual distance from the influence of the mouth of the Amazon River. Furthermore, the inner shelf area adjacent to the estuaries was also investigated. Granulometric analysis of the surface bottom sediments of the collected samples

showed the predominance of sandy sediments in the platform area and muddy sediments in the estuaries. The results highlighted the importance of particle size and organic matter analysis in understanding sedimentary processes in Amazonian estuaries, providing crucial information for future studies on erosion, deposition and environmental impacts.

**Keywords:** sedimentary dynamics; Amazon coastal zone; suspended sediments; zone of maximum turbidity.

## Introdução

A Zona Costeira Amazônica (ZCA), localizada entre o Cabo Orange (Amapá) e a Ponta de Tubarão (Maranhão), tem 1.200 km de extensão, abrangendo 23 estuários e 30 bacias hidrográficas (SOUZA-FILHO *et al.*, 2005). Além disso, a ZCA apresenta a maior faixa contínua de manguezais do mundo, com área de ~8 mil km<sup>2</sup> e 480 km de extensão (SOUZA-FILHO, 2005). Dentre os diversos ambientes de sedimentação costeira encontrados na ZCA, encontram-se os estuários dos rios Mocajuba, Caeté e Gurupi, alvos da presente proposta.

Os estuários são ambientes costeiros de relevância científica, socioambiental e ecológica (GOMES *et al.*, 2020). Os estuários amazônicos, no geral, apresentam algumas características em comum, como por exemplo, o regime de macromarés, fortes correntes de maré e ventos alísios, resultando em altas condições hidrodinâmicas (MEADE *et al.*, 1985; GEYER *et al.*, 1996; PEREIRA *et al.*, 2009).

O transporte de sedimentos em estuários é controlado, substancialmente, por processos físicos, como a hidrodinâmica fluvial-oceânica (HU *et al.*, 2019). Ao longo do transporte, a granulometria dos sedimentos sofre modificações devido aos ciclos de deposição, ressuspensão e pelo próprio transporte (NICHOLS, 1986).

Considerando a ZCA, sabe-se que os estuários são eficientes armadilhas de sedimentos (ASP *et al.*, 2013, 2016), e que os rios locais transportam pequenas quantidades de sedimentos em suspensão (DILLENBURG *et al.*, 2009). Desta forma, questiona-se a dinâmica sedimentar dos estuários do setor leste da zona costeira amazônica no que se refere aos processos de transporte, deposição e acúmulo de sedimentos finos.

O presente trabalho investigou os aspectos sedimentológicos de três estuários amazônicos (estuários dos rios Mocajuba, Caeté e Gurupi), considerando a zona de convergência de transporte destes estuários já previamente analisada em trabalhos como Asp *et al.*, (2018), Gomes *et al.*, (2021) e Silva *et al.*, (2023).

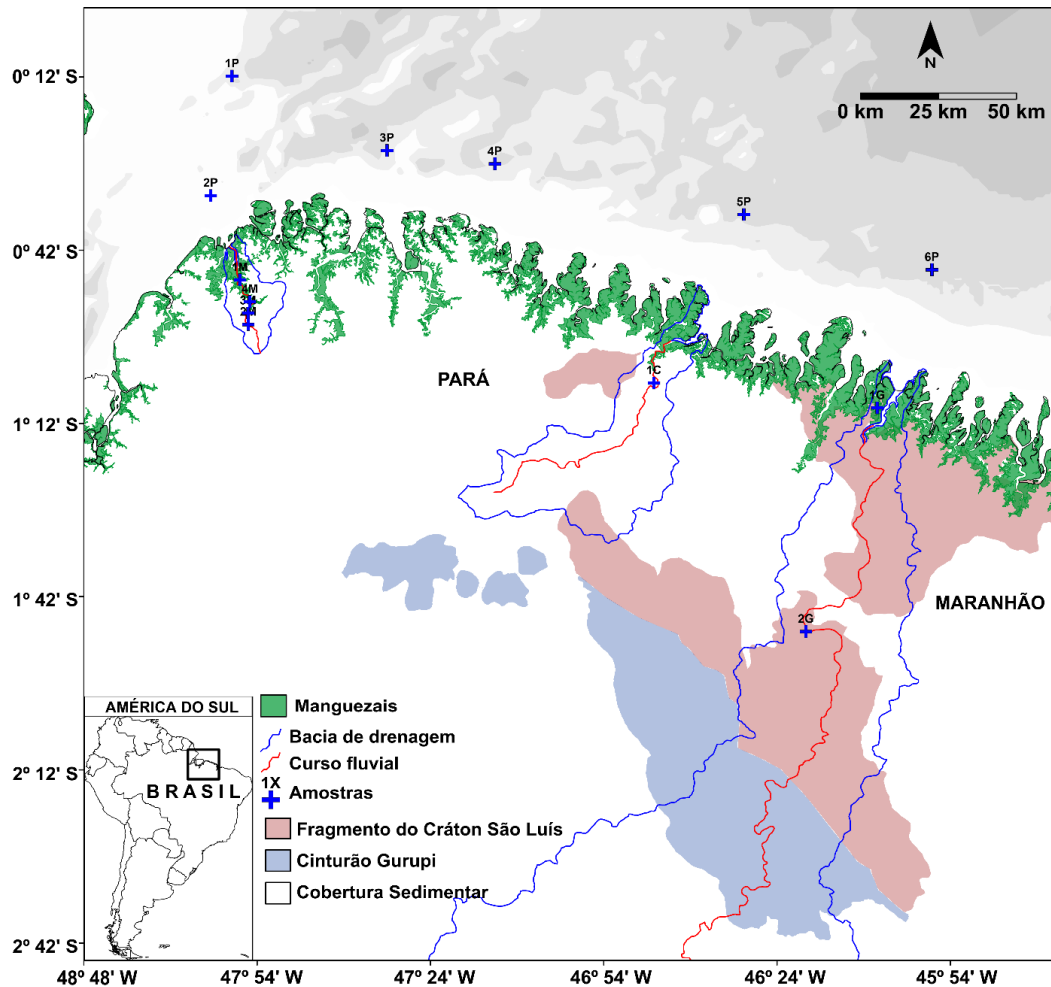
O trabalho analisou as características composicionais das amostras no que se refere as propriedades texturais e o teor de matéria orgânica, inferiu a partir dos resultados o papel do

suprimento local, do transporte do rio e da interação com o rio Amazonas e os efeitos de maré na sedimentologia. Por fim, preservarmos um banco de amostras para futuras análises para estudos de proveniência e/ou *background* de elementos e substâncias para estudos mais avançados relacionados às análises biogeoquímicas e geoquímicas.

### Área de estudo

Os trabalhos foram conduzidos nos estuários dos rios Mocajuba, Caeté e Gurupi, devido ao gradual aumento de sua distância da foz/pluma do rio Amazonas e pelo aumento de tamanho da área de bacia de drenagem gradativo de cada um (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, evidenciando as bacias de drenagens dos rios Mocajuba, Caeté e Gurupi. Os pontos em azul referem-se a localização das amostras coletadas.



Fonte: Lima, Silva e Asp (2024).

O estuário do rio Mocajuba localiza-se entre 0° 40' S e 0° 53' S e entre 47° 53' W e 47° 59,3' W no leste da costa amazônica (Figura 1). O rio Mocajuba tem uma área de drenagem de 323 km<sup>2</sup> sua vazão média é de  $\sim 8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (MARTINS *et al.*, 2007; ASP *et al.*, 2013; GOMES *et*

*al.*, 2021). Classificado como um estuário dominado por marés, o Mocajuba possui uma amplitude de maré maior que 5 m no decorrer das marés de sizígia (ASP *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2021). A geologia característica da região é constituída por rochas sedimentares clásticas lateritizadas da Formação Barreiras, com ambientes sedimentares como, praias (COSTA *et al.*, 2004; DA SILVA; SOUZA-FILHO; RODRIGUES, 2009).

O estuário do rio Caeté compreende uma bacia de drenagem de  $\sim 2000 \text{ km}^2$ , contendo o rio Caeté com uma área de 100 km e vazão de  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (PEREIRA *et al.*, 2009; DILLENBURG *et al.*, 2009). A vazão mensal do rio Caeté exibe comportamento de oscilação similar ao regime de precipitação local, a média da vazão do rio é de  $41,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Na estação seca é  $7,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; e na estação chuvosa a vazão é de  $82,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (GOMES *et al.*, 2021).

O rio Gurupi é um rio de águas pretas situado entre  $1^\circ 3050' \text{ S}$  e  $1^\circ 51050' \text{ S}$  e entre  $45^\circ 570 \text{ W}$  e  $46^\circ 210 \text{ W}$ . O estuário do rio Gurupi contém  $\sim 480 \text{ km}$  de extensão, uma faixa contínua de  $7.600 \text{ km}^2$  de manguezais (SOUZA-FILHO, 2005), uma bacia de  $\sim 35.200 \text{ km}^2$ , sendo a extensão do rio de  $\sim 700 \text{ km}$  (SILVA *et al.*, 2023).

O clima da região em que os estuários estão inseridos é equatorial quente e úmido, com período chuvoso é estabelecido entre os meses de janeiro e abril, na qual sua precipitação é de 73% ao ano, ao passo que a estação seca acontece durante setembro e novembro (DILLENBURG *et al.*, 2009). Isso ocorre por causa da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MORAES *et al.*, 2005; DILLENBURG *et al.*, 2009). A média anual de precipitação varia cerca de 2,300 e 2,800 mm (MORAES *et al.*, 2005).

## **Metodologia**

As amostras de sedimentos foram coletadas em todos os estuários mencionados, com uso de uma draga busca-fundo do tipo *Petersen*. Esta amostragem foi realizada em Dezembro de 2022, com acesso por via terrestre, se utilizando de pontes e trapiches para a amostragem. No caso da plataforma continental, as amostragens foram realizadas com o uso de uma draga busca-fundo do tipo *Shipek* a bordo do Navio de Ensino e Pesquisa Ciências do Mar II, em duas expedições distintas, em Fevereiro e Novembro de 2022. Baseado em trabalhos prévios (e.g., ASP *et al.* 2018; GOMES *et al.* 2021; SILVA *et al.* 2023), amostragem de sedimentos de fundo buscou avaliar a sedimentologia à montante, à jusante e na área de convergência de transporte. No total foram coletadas 7 amostras de sedimentos nos estuários, sendo 4 no estuário do Mocajuba, 1 no estuário do Caeté e 2 no estuário do Gurupi. Na plataforma continental foram coletadas 6 amostras, totalizando 13 amostras avaliadas no presente trabalho.

Em laboratório, as amostras de sedimento de fundo passaram por lavagem para dessalinização e foram secas em estufa para obtenção de peso seco bruto. De cada amostra foram retiradas subamostras para análises distintas. Para a quantificação de matéria orgânica, as amostras foram submetidas à oxidação por Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ), sendo realizada três imersões nas seguintes proporções de diluição: 30%, 50% e 100%, objetivando evitar perda de material.

Posteriormente, as amostras foram submetidas à análise granulométrica, utilizando um granulômetro a *laser* modelo CILAS 1190 LD. Os parâmetros estatísticos de distribuição e a classificação granulométrica foram obtidos mediante utilização de *software* Gradistat. Com o uso do *software* Surfer 13 foram gerados os mapas sedimentológicos (faciológicos).

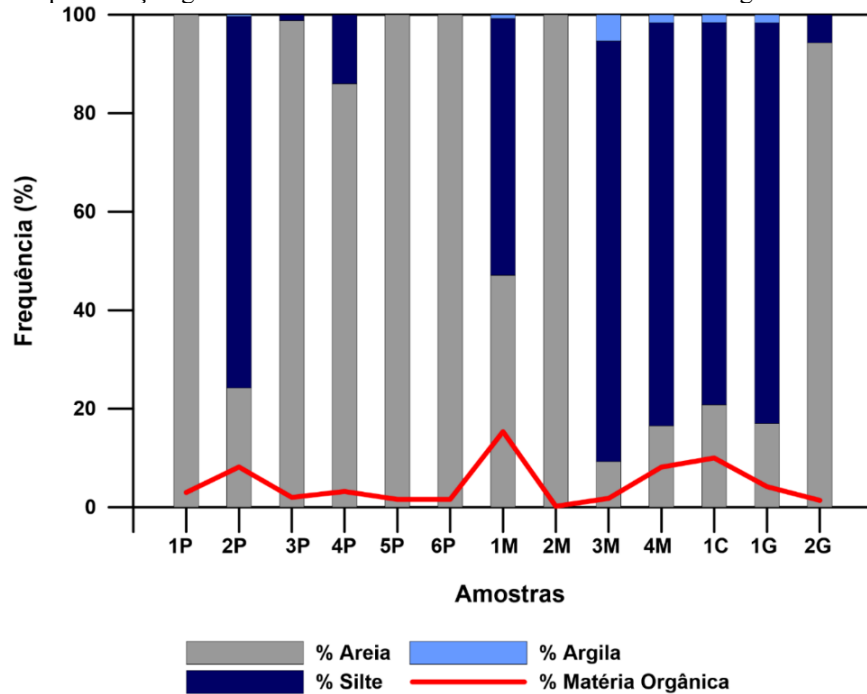
## Resultados

As análises granulométricas exibiram, no geral, percentuais predominantes de areia na Plataforma Amazônica, onde as amostras 1P, 5P e 6P apresentaram-se como 100% arenosas, 3P com ~98% e 4P com ~86% de areia. Em relação a matéria orgânica, 1P exibiu 5%, 3P 1,99%, 4P 3,2%, 5P 1,59% e 6P 1,59%, em contrapartida 2P apresentou 8,16%, um valor maior que as demais (Figura 2). Nas amostras dos estuários os percentuais predominantes foram de silte, exceto àquelas localizadas nas porções superiores de cada estuário (porção mais interna).

No estuário do rio Mocajuba, as amostras localizadas nos setores médio e inferior (1M, 3M e 4M) apresentaram teor de silte superior a 52%. Em contraponto, a amostra 2M, localizada na porção superior do estuário, apresentou 100% de areia na sua composição, o que já era esperado, devido a localização e maior influência do próprio rio Mocajuba. Em relação a matéria orgânica a 1M expôs 15,33%, a 2M 0,197%, 3M 1,79%, 4M 8,15%.

A amostra do estuário do rio Caeté (1C) exibiu um percentual de 77% de silte, 20% de areia e 1,5% de argila, sendo classificada como silte grosso. No estuário do Gurupi, a amostra 1G foi classificada como “silte grosso”, apresentando 81% de silte, 17% de areia e apenas ~1,6% de argila. A amostra 2G foi classificada como “areia fina”, apresentando ~95% de areia e 5% de silte. Ao analisar a matéria orgânica chegamos nos seguintes valores, a amostra 1C do estuário do rio Caeté exibiu 10%, os pontos 1G e 2G do estuário do rio Gurupi apresentaram 4,16% e 1,39% respectivamente.

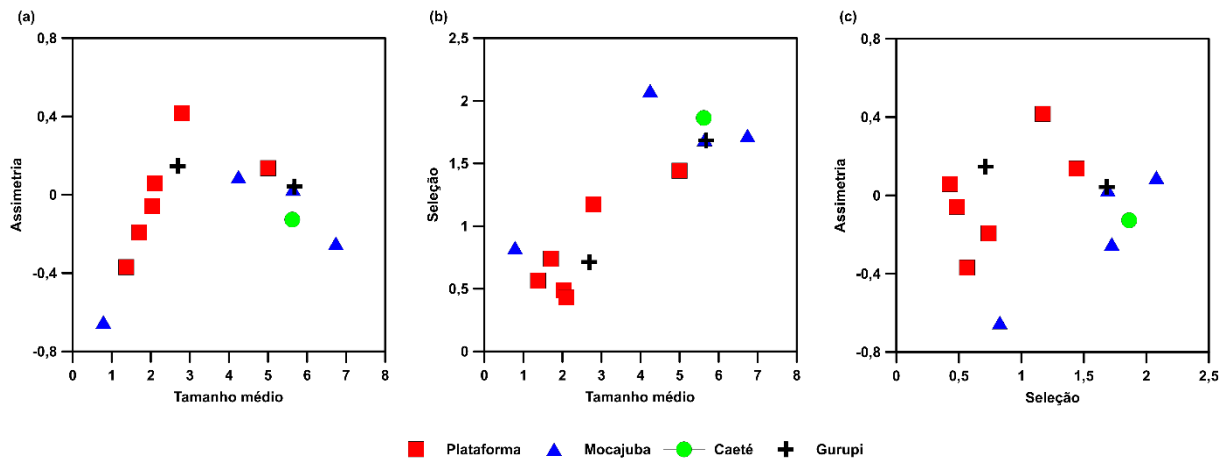
Figura 2: Representação gráfica dos valores dos sedimentos com a matéria orgânica em cada amostra.



Fonte: Lima, Silva e Asp (2024).

No parâmetro grau de seleção, os pontos de amostragem da Plataforma Continental Amazônica 1P e 3P foram classificadas como “moderadamente bem selecionado”, 5P e 6P foram “bem selecionado”, já 2P e 4P foram conceituadas como “pobremente selecionado”. As amostras dos estuários foram classificadas como “pobremente selecionadas”, o que indica que há intensa mistura entre lama e areia (Figura 3, Tabela 1). Um resultado similar foi observado por Freitas (2017) e Silva *et al.*, (2021) nos sedimentos coletados nos rios Xingu e Tapajós, onde sedimentos mal selecionados também indicaram de mistura entre lama e areia.

Figura 3: Distribuição e dispersão paramétrica das amostras.



Fonte: Lima, Silva e Asp (2024).

No parâmetro assimetria, houve variação entre “muito negativa” a “muito positiva”, sendo a maioria das amostras classificadas como “simétrica” nos estuários. Na plataforma, a maior parte das amostras foram classificadas como “simétricas”, apenas duas amostras (2P e 4P) foram classificadas como “assimetria positivas”, somente a amostra 3P foi classificada como “assimetria negativa”.

Tabela 1: Parâmetros das amostragens, onde as amostras de 1P a 6P são referentes a Plataforma Continental Amazônica, 1M a 4M do estuário do rio Mocajuba, 1C do estuário do rio Caeté e 1G e 2G ao estuário do rio Gurupi.

<b>Amostras</b>	<b>Diâmetro médio</b>	<b>Classif</b>	<b>Seleção</b>	<b>Classif.</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Classif.</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>
1P	1,375	Areia média	0,564	Moderadamente bem selecionado	-0,369	Muito positiva	5
2P	4,998	Silte muito grosso	1,442	Pobrememente selecionado	0,136	Positiva	8,167
3P	1,707	Areia média	0,738	Moderadamente selecionado	-0,192	Negativa	1,996
4P	2,796	Areia fina	1,172	Pobrememente selecionado	0,416	Positiva	3,2
5P	2,032	Areia fina	0,486	Bem selecionado	-0,058	Simétrica	1,596
6P	2,103	Areia fina	0,429	Bem selecionado	0,058	Simétrica	1,596
1M	4,246	Silte muito grosso	2,081	Muito pobrememente selecionado	0,092	Simétrica	15,338
2M	0,787	Areia grossa	0,828	Moderadamente selecionado	-0,649	Muito negativa	0,197
3M	6,740	Silte médio	1,724	Pobrememente selecionado	-0,248	Negativa	1,796
4M	5,640	Silte grosso	1,692	Pobrememente selecionado	0,029	Simétrica	8,151
1C	5,620	Silte grosso	1,863	Pobrememente selecionado	-0,127	Negativa	10
1G	5,677	Silte grosso	1,684	Pobrememente selecionado	0,042	Simétrica	4,166
2G	2,692	Areia fina	0,713	Moderadamente selecionado	0,146	Positiva	1,394

## Discussão

Ao analisar e caracterizar as propriedades dos sedimentos construímos um acervo importante para eventuais estudos sobre processos erosivos ou deposicionais, tais como a granulometria e teor de matéria orgânica (MONIZ; JORGE; VALADARES, 2009). O desenvolvimento sedimentar dos estuários está conectado a fatores, como a dinâmica hídrica no estuário, a salinidade, ao clima, ao fornecimento sedimentar, morfologia e fluxo energético (FRAZÃO, 2003).

Os sistemas estuarinos são espaços de elevada produtividade primária, impondo uma conexão direta com os nutrientes que são fornecidos pela proveniência antrópica e natural (FONSECA, 2023). Com a análise da granulometria em conjunto com a matéria orgânica é possível entender os processos sedimentares das regiões e dos aspectos que podem afetar esses processos (OLIVEIRA *et al.*, 2005), especialmente a proveniência e o transporte.

Sedimentos finos geralmente se acumulam em locais de baixa energia de ondas, em contrapartida sedimentos grosseiros se acumulam em locais de alta energia de ondas (DAVIS JR; FITZGERALD, 2009), o que justifica a predominância de sedimentos arenosos na área de plataforma interna. Nos estuários, a predominância de teores de areia, como nas amostras 2M e 2G, é justificada pelo fato desses sedimentos se localizarem no estuário superior. É importante destacar que esses rios são rios de água preta (SIOLI, 1984) dessa forma não transportam grandes quantidades de sedimentos finos (em suspensão).

Em paralelo as amostras 1M, 3M, 4M e 1G, dos estuários dos rios Mocajuba e Gurupi, foram classificadas como siltosas, estando localizadas no estuário médio e inferior. De acordo com Silva *et al.*, (2023) e Gomes *et al.*, (2021) o estuário do Mocajuba está sob influência constante da carga sedimentar do Amazonas que por sua vez transporta sedimentos finos. No caso do estuário do Gurupi, a amostra 1G está na área onde ocorre a formação da ZTM (SILVA *et al.*, 2023).

O estuário do Rio Caeté é o estuário modelo por ser muito estudado, dessa forma trabalhos como Asp *et al.*, (2018) demonstraram que há uma predominância de silte e ainda por conta da localização no estuário médio a amostra apresenta influência do manguezal. No geral os sedimentos nos estuários foram classificados como pobremente selecionados, por conta da variação de grãos finos e grossos.

Os sedimentos “pobremente selecionados” e “muito pobremente selecionados” encontram-se distribuídos sem nenhum padrão de distribuição ao longo desses estuários, apesar de duas amostras serem “moderadamente selecionadas”. A razão desse resultado ser em função

aos diferentes níveis energéticos, já que com maior propagação do transporte ou da agitação do ambiente partículas de diferentes proporções se separam (NICHOLS, 2009).

Na plataforma interna, a maior parte das amostras foi classificada como “bem selecionadas” e “moderadamente selecionados” por conta do fluxo energético. A classificação dos sedimentos como pobremente selecionados nos estuários, contrastando com a distribuição mais uniforme na plataforma, destaca a complexidade dos processos de transporte e deposição.

A frequência assimétrica nas amostras da plataforma foi positiva e de acordo com Folk & Ward (1957), indicando predominância de porções sedimentares finas, sendo coerente com os resultados obtidos. As 1M, 4M, 1G e 2G se mostraram simétricas, enquanto 2M, 3M e 1C são assimetricamente negativas indicando uma dominância de sedimentos grosseiros em torno da energia para seu transporte. A análise da frequência assimétrica das amostras, em conformidade com os princípios de Folk & Ward (1957), proporciona uma compreensão adicional da distribuição granulométrica dos estuários e plataforma, evidenciando a predominância de sedimentos finos ou grossos em resposta à energia disponível para o transporte sedimentar e condições locais.

A matéria orgânica é manifestada em partículas ou dissolvidas, sendo fonte de nutrição, energia, índice das condições ambientais e compoendo depósitos fosseis (HEDGES & PRAHL, 1993). A natureza geoquímica da matéria orgânica facilita com que se associe as frações sedimentares menores, como a argila e silte e que seja transportada pelos rios e depositada no fundo do oceano (PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI, 2001).

As amostras que apresentaram maior teor de matéria orgânica foram as 1M, 4M, 1C e 2P que exibiram sedimentos mais finos e foram classificadas como silte. Esse maior percentual foi encontrado nas amostras localizadas nos setores médios e inferiores dos estuários, podendo estar associado a diminuição da influência do transporte fluvial e a 2P se localiza mais próxima da Pluma do rio Amazonas, caracterizada pela baixa salinidade e abundância de nutrientes e matéria orgânica.

## **Conclusões**

Os parâmetros estatísticos das distribuições granulométricas constituem a base para vários métodos para classificação de ambientes sedimentares, a análise das propriedades dos sedimentos revela informações importantes para compreender os processos erosivos e deposicionais em estuários. A granulometria e o teor de matéria orgânica emergem como parâmetros-chave nesse contexto, criando *insights* sobre a dinâmica sedimentar influenciada

por fatores como a hidrodinâmica, salinidade, clima e suprimento de sedimentos.

A distribuição dos sedimentos nos estuários reflete a interação complexa entre os níveis energéticos do ambiente e as características granulométricas. A predominância de sedimentos finos em locais de baixa energia contrasta com a acumulação de sedimentos grossos em áreas de alta energia, como evidenciado na Plataforma e nos estuários superiores. Essa variação granulométrica é influenciada pela proveniência dos sedimentos, como nos rios de água preta, que transportam predominantemente sedimentos grossos. Por outro lado, a presença de silte nos estuários médios e inferiores sugere influência do manguezal e/ou da pluma do rio Amazonas.

### Referências

ASP, Nils *et al.* **Hydrodynamic overview and seasonal variation of estuaries at the eastern sector of the Amazonian coast.** Journal of Coastal Research, n. 65, p. 1092-1097, 2013.

ASP, Nils *et al.* **Sediment source, turbidity maximum, and implications for mud exchange between channel and mangroves in an Amazonian estuary.** Ocean Dynamics, v. 285-297, 2016.

ASP, Nils *et al.* **Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the Amazon River sediment load.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 214, p. 10-24, 2018.

COSTA, Marconde *et al.* **Mineralogical, geochemical and palynological Studies of late Holocene Mangrove Sediments from Northeastern Pará State.** Brazil. Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n. 4, p. 479-488, 2004.

DAVIS JR, Richard; FITZGERALD, Duncan. **Beaches and coasts.** John Wiley & Sons, 2009.

DILLENBURG, Sérgio *et al.* **The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern Amazon coast, Northern Brazil.** Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil, p. 347-375, 2009.

FOLK, Robert; WARD, William. **Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters.** Journal of sedimentary research, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FRAZÃO, Eugênio. **CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E MORFOSEDIMENTAR DO ESTUÁRIO POTENGI E ÁREAS ADJACENTES: SUBSÍDIOS PARA CONTROLE E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NO CASO DE DERRAMES DE HIDROCARBONETO.** 2003. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2003.

FREITAS, Paulo *et al.* **Tidal influence on the hydrodynamics and sediment entrapment in a major Amazon River tributary—Lower Tapajós River.** Journal of South American Earth Sciences, v. 79, p. 189-201, 2017.

DA FONSECA, Luís. **O ECÓTONO MAR/CONTINENTE: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES**. Gestão das zonas costeiras, p. 185. 2023.

GEYER, Rockwell *et al.* **Physical oceanography of the Amazon shelf**. Continental Shelf Research, v. 16, n. 5-6, p. 575-616, 1996.

GOMES, Vando.; FREITAS, Paulo.; ASP, Nils. **Dynamics and seasonality of the middle sector of a macrotidal estuary**. Journal of Coastal Research, n. 65, p. 1140-1145, 2013.

GOMES, Vando *et al.* **Connection between macrotidal estuaries along the southeastern Amazon coast and its role in coastal progradation**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 240, p. 106794, 2020.

GOMES, Vando *et al.* **Suspended-sediment distribution patterns in tide-dominated estuaries on the eastern Amazon coast: geomorphic controls of turbidity-maxima formation**. Water, v. 13, n. 11, p. 1568, 2021.

HEDGES, John.; PRAHL, Fredrick. **Early diagenesis: consequences for applications of molecular biomarkers**. In: Organic geochemistry: Principles and applications. Boston, MA: Springer US, p. 237-253. 1993.

HU, Yuekai *et al.* **Tidal-driven variation of suspended sediment in Hangzhou Bay based on GOCI data**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 82, p. 101920, 2019.

MARTINS, Elaine *et al.* **Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM**. Annals of the 13 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007.

MEADE, Robert. **Suspended sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982-84**. US Geological Survey, 1985.

MONIZ, Antonio.; JORGE, José.; VALADARES, José. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Instituto Agronômico, Campinas, 2009.

MORAES, Bergson *et al.* **Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará**. Acta Amazonica, v. 35, p. 207-214, 2005.

NICHOLS, Gary. **Sedimentology and stratigraphy**. John Wiley & Sons, 2009.

NICHOLS, Maynar. **Effects of fine sediment resuspension in estuaries**. Estuarine cohesive sediment dynamics, v. 14, p. 5-42, 1986.

OLIVEIRA, Thaís *et al.* **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management, v. 14, n. 3, p. 399-411, 2014.

PEREIRA, Simone.; LIMA, Waterloo.; EL-ROBRINI, Maamar. **Natureza geoquímica da matéria orgânica transportada para a foz do Rio Amazonas (Brasil, Região Norte)**. Programa REVIZEE. Portugal, p. 73-74, 2001.

PEREIRA, Luci *et al.* **Morphological and sedimentological changes in a macrotidal sand beach in the Amazon littoral (Vila dos Pescadores, Pará, Brazil)**. Journal of Coastal Research, p. 113-117, 2009.

RAMANATHAN, Al. *et al.* **Textural characteristics of the surface sediments of a tropical mangrove Sundarban ecosystem India**. 2009.

SIOLI, Harald. **The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types**. In: The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dordrecht: Springer Netherlands. p. 127-165. 1984.

SILVA, Ariane *et al.* **Recent sedimentation in an Amazon tidal tributary: Integrated analysis of morphology and sedimentology**. Journal of South American Earth Sciences, v. 107, p. 103134, 2021.

SILVA, Ariane *et al.* **Implications of a Large River Discharge on the Dynamics of a Tide-Dominated Amazonian Estuary**. Water, v. 15, n. 5, p. 849, 2023.

DA SILVA, Cléa.; SOUZA-FILHO, Pedro Walfir.; RODRIGUES, Suzan. **Morphology and modern sedimentary deposits of the macrotidal Marapanim Estuary (Amazon, Brazil)**. Continental Shelf Research, v. 29, n. 3, p. 619-631, 2009.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir. **Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, p. 427-435, 2005.

SOUZA-FILHO, Pedro Walfir *et al.* **Bibliografia da zona costeira amazônica**. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005.

### CAPÍTULO III – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso apresenta importância do ponto de vista científico ao abordar questões fundamentais para análise e caracterização dos sedimentos e matéria orgânica para a compreensão dos processos de transporte e deposicionais nos estuários da Zona Costeira Amazônica e plataforma continental interna. Ao examinar parâmetros granulométricos como tamanho médio, assimetria e seleção, além do teor de matéria orgânica, obtemos um acervo para estudos futuros, especialmente relacionados aos aspectos biogeoquímicos dos estuários amazônicos.

Esses dados não apenas fornecem *insights* sobre a dinâmica sedimentar, mas também ajudam a desvendar a interação entre fatores, como hidrodinâmica, salinidade, clima e suprimento de sedimentos. Compreender esses processos é essencial não apenas para a preservação dos ecossistemas estuarinos, mas também para suavizar os impactos sobre esses ambientes.

A distribuição dos sedimentos nos estuários, como abordado no trabalho, reflete a complexa interação entre os níveis energéticos do ambiente e as características granulométricas. Essa variação, que se manifesta na acumulação de sedimentos finos em áreas de baixa energia e de sedimentos grossos em locais de alta energia, tem implicações significativas para a hidrodinâmica, geomorfologia e ecologia desses ecossistemas. Além disso, a contribuição de diversas fontes dos sedimentos, especialmente dos rios de água preta e da pluma do rio Amazonas, desempenha um papel fundamental na composição granulométrica dos estuários, influenciando a distribuição e a deposição dos sedimentos ao longo do tempo.

Por fim, a análise do teor de matéria orgânica nos sedimentos não apenas fornece subsídio sobre as condições ambientais e a produtividade dos ecossistemas estuarinos, mas também revela pistas importantes sobre a história ambiental dessas áreas. Portanto, investir em pesquisas detalhadas sobre as propriedades dos sedimentos é essencial para um manejo adequado desses ambientes e para a compreensão mais ampla dos processos que moldam as regiões estuarinas.

### REFERÊNCIAS GERAIS

ASP, Nils *et al.* **The dynamics of a frictionally-dominated Amazonian estuary.** *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 60, p. 391-403, 2012.

ASP, Nils *et al.* **Hydrodynamic overview and seasonal variation of estuaries at the eastern sector of the Amazonian coast.** *Journal of Coastal Research*, n. 65, p. 1092-1097, 2013.

- ASP, Nils *et al.* **Sediment source, turbidity maximum, and implications for mud exchange between channel and mangroves in an Amazonian estuary.** *Ocean Dynamics*, v. 285-297, 2016.
- ASP, Nils *et al.* **Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the Amazon River sediment load.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 214, p. 10-24, 2018.
- ASP, Nils *et al.* **Water column and bottom gradients on the continental shelf eastward of the Amazon River mouth and implications for mesophotic reef occurrence.** *Journal of Marine Systems*, v. 225, 2022.
- AZIDANE, Hind *et al.* **Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along the Atlantic Coast, Kenitra (Morocco).** *Marine Georesources & Geotechnology*, v. 39, n. 5, p. 569-576, 2021.
- BADER, Richard. **Relações de carbono e nitrogênio em sedimentos marinhos superficiais e subterrâneos.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 5-6, pág. 205-211, 1955.
- BATISTA, Edmilson; SOUZA FILHO, Pedro; SILVEIRA, Odete. **Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos.** *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, p. 83-96, 2009.
- BEZERRA MENEZES, Maria *et al.* **Estuarine processes in macro-tides of Amazon estuaries: A Study of Hydrodynamics and Hydrometeorology in the Marajo Bay (Para-Brazil).** *Journal Of Coastal Research*, p. 1176-1181, 2013.
- BRITO, Roney *et al.* **Características sedimentares fluviais associadas ao grau de reservação da mata Ciliar-Rio Urumajó, Nordeste Paraense.** *Acta Amazonica*, v. 39, p. 173-180, 2009.
- BONETTI, Carla; BONETTI, Jarbas; BARCELOS, Roberto. **Caracterização sedimentar e geoquímica de sistemas costeiros com ênfase na avaliação da influência de sítios de cultivo de moluscos.** BARROSO, GF; POERSCH, LHS; CAVALLI, R. O, p. 139-149, 2007.
- COHEN, Marcelo *et al.* **Factors influencing the variability of Mg, Ca and K in waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil.** *Mangroves and Salt Marshes*, v. 3, p. 9-15, 1999.
- COTA, Camila. **DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇO EM PERFIS SEDIMENTARES NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA PLUMA DO RIO AMAZONAS.** 2022. 80 f. Dissertação (Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2022.
- DE ARRUDA XAVIER, Diego *et al.* **Determination of background geochemistry of an Amazon estuary: The Cuñaní Estuary–Amapá.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 155, p. 111144, 2020.

DOS SANTOS RODRIGUES, Camila *et al.* **Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Amazon River Estuary (Amapá, Northern Brazil):** distribution, sources and potential ecological risk. *Marine pollution bulletin*, v. 135, p. 769-775, 2018.

DILLENBURG, Sérgio *et al.* **The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern Amazon coast, Northern Brazil.** *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*, p. 347-375, 2009.

FOLK, Robert. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature.** *The Journal of Geology*, v. 62, n. 4, p. 344-359, 1954.

FOLK, Robert; WARD, William. **Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters.** *Journal of sedimentary research*, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

GANESH, B. *et al.* **Studies on textural characteristics of sediments from Gosthani River Estuary-Bheemunipatnam, AP, East Coast of India.** *Jour. Indian Geophys. Union*, v. 17, n. 2, p. 139-151, 2013.

GEYER, Rockwell *et al.* **Physical oceanography of the Amazon shelf.** *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 5-6, p. 575-616, 1996.

GIBBS, Ronald. **Circulation in the Amazon River estuary and adjacent Atlantic Ocean.** *Journal of Marine Research*, 28: 113-123. 1970.

GOMES, Vando.; FREITAS, Paulo.; ASP, Nils. **Dynamics and seasonality of the middle sector of a macrotidal estuary.** *Journal of Coastal Research*, n. 65, p. 1140-1145, 2013.

GOMES, José. **CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO GURUPI.** 2015. 48 f. Dissertação (Biologia Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Bragança, 2015.

GOMES, Vando *et al.* **Connection between macrotidal estuaries along the southeastern Amazon coast and its role in coastal progradation.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 240, p. 106794, 2020.

GOMES, Vando *et al.* **Suspended-sediment distribution patterns in tide-dominated estuaries on the eastern Amazon coast: geomorphic controls of turbidity-maxima formation.** *Water*, v. 13, n. 11, p. 1568, 2021.

HU, Yuekai *et al.* **Tidal-driven variation of suspended sediment in Hangzhou Bay based on GOCI data.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 82, p. 101920, 2019.

IOCCG. **Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters.** Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. Dartmouth, report III, p. 140, 2000.

LARA, Rubén. **Amazonian mangroves—a multidisciplinary case study in Pará State, North Brazil:** Introduction. *Wetlands ecology and management*, v. 11, p. 217-221, 2003.

MARTINS, Elaine *et al.* **Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM.** Annals of the 13 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007.

MEADE, Robert. **Suspended sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil during 1982-84.** US Geological Survey, 1985.

MITSUYA, Miyuki. **VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA NO LEITO PRINCIPAL DO RIO AMAZONAS EM FRENTE À CIDADE DE ÓBIDOS – PA.** 2014. 68 f. Dissertação (Recursos Naturais da Amazônia) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2014.

MOLLERI, Gustavo; NOVO, Evelyn; KAMPEL, Milton. **Space-time variability of the Amazon River plume based on satellite ocean color.** Continental Shelf Research, v. 30, n. 3-4, p. 342-352, 2010.

MORAES, Bergson *et al.* **Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará.** Acta amazonica, v. 35, p. 207-214, 2005.

NICHOLS, Gary. **Sedimentology and stratigraphy.** John Wiley & Sons, 2009.

NICHOLS, Maynar. **Effects of fine sediment resuspension in estuaries.** Estuarine cohesive sediment dynamics, v. 14, p. 5-42, 1986.

NITTROUER, Charles *et al.* **An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf.** Marine Geology, v. 125, n. 3-4, p. 177-192, 1995.

PEREIRA, C. *et al.* **Caracterização do efluente de cultivo de *Litopenaeus vannamei* no estuário do Rio Curuçá (PA).** BARROSO, GF; POERSCH, LHS; CAVALLI, RO Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos. Rio de Janeiro: Museu Nacional, Série Livros, v. 26, 2007.

PEREIRA, Luci *et al.* **Morphological and sedimentological changes in a macrotidal sand beach in the Amazon littoral (Vila dos Pescadores, Pará, Brazil).** Journal of Coastal Research, p. 113-117, 2009.

PRITCHARD, Donald. **What is an estuary: physical viewpoint.** American Association for the Advancement of Science, 1967.

ROLLNIC, Marcelo; ROSÁRIO, Renan. **Tide propagation in tidal courses of the Pará river estuary, Amazon Coast, Brazil.** Journal of Coastal Research, n. 65, p. 1581-1586, 2013.

SALISBURY, José *et al.* **Spatial and temporal coherence between Amazon River discharge, salinity, and light absorption by colored organic carbon in western tropical Atlantic surface waters.** Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 116, n. C7, 2011.

SAWAKUCHI, André; GIANNINI, Paulo. **Complexidade em sistemas deposicionais**. Revista Brasileira de Geociências, v. 36, n. 2, p. 347-358, 2006.

SENA, Glória *et al.* **ANÁLISE DO FLUXO HÍDRICO E A VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS HÍDRICOS DO MUNICÍPIO DE CURUÇÁ-PA**. Águas Subterrâneas, 2006.

SEYLER, Patrick; BOAVENTURA, Geraldo. **Trace Elements in the Mainstem Amazon River**. The biogeochemistry of the Amazon basin, 2001.

SILVA, Alex *et al.* **Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica**. Acta Amazonica, v. 39, p. 361-369, 2009.

SILVA, Alex; ARAÚJO, Moacyr; BOURLÈS, Bernard. **Seasonal variability of the Amazon River plume during REVIZEE Program**. Tropical Oceanography, v. 38, n. 1, p. 76-87, 2010.

SILVA, Ariane *et al.* **Implications of a Large River Discharge on the Dynamics of a Tide-Dominated Amazonian Estuary**. Water, v. 15, n. 5, p. 849, 2023.

SILVA, Ariane *et al.* **Recent sedimentation in an Amazon tidal tributary: Integrated analysis of morphology and sedimentology**. Journal of South American Earth Sciences, v. 107, p. 103134, 2021.

SILVA, Ariane *et al.* **A PLUMA DO RIO AMAZONAS: FONTE, DINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS PARA ESTUÁRIOS E MANGUEZAIS DO LITORAL LESTE AMAZÔNICO**. PhD Thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 157 p. 2024.

SIVASAMANDY, Radhakrishna; RAMESH, Ram. **Granulometric studies of the sediments from Kolakkudi Lake, Musiri Taulk, Trichirapalli District, Tamilnadu, India**. International Research Journal of Earth Sciences, v. 2, n. 11, p. 1-10, 2014.

SOUZA, Caroline *et al.* **Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica**. Educação Ambiental sobre Manguezais. São Vicente: Unesp, p. 16-56, 2018.

SOUZA FILHO, Pedro; EL-ROBRINI, Maamar. **Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da planície costeira bragantina, nordeste do Pará, Brasil**. Geonomos, 1996.

SOUZA FILHO, Pedro. **Tectonic control on the coastal zone geomorphology of the northeastern Pará State**. Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 3, p. 527-530, 2000.

SOUZA-FILHO, Pedro *et al.* **Bibliografia da zona costeira amazônica**. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005.

RESENDE, Jéssica. **CARACTERIZAÇÃO DE FONTES E DISTRIBUIÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NO SEDIMENTO DO ESTUÁRIO DO CAPIBARIBE (PERNAMBUCO, BRASIL) ATRAVÉS DE MARCADORES ELEMENTARES, ISOTÓPICOS E MOLECULARES**. 2015. 102 f. Dissertação (Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

TELES, Geise. **ANÁLISE DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOCAJUBA, NORDESTE PARAENSE, A PARTIR DO MODELO TEORICO GTP**. 2016. 156 f. Tese (Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

TRINDADE, Lione *et al.* **Reserva extrativista (RESEX) Marinha Mãe Grande de Curuçá: gestão ambiental e possibilidade de turismo na comunidade da Vila de Mutucal**. 2020.

VALLE-LEVINSON, Arnoldo. **Contemporary issues in estuarine physics**. Cambridge University Press, 2010.

WETZEL, Andreas. **Estruturas biogênicas em encostas modernas para sedimentos de águas profundas na Bacia do Mar de Sulu (Filipinas)**. Paleogeografia, Paleoclimatologia, Paleoecologia. v. 3-4, pág. 285-304, 1983.

YU, Di *et al.* **The River–Sea Interaction off the Amazon Estuary**. Remote Sensing, v. 14, n. 4, p. 1022, 2022.

ZALÁN, Pedro. **Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras**. Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, p. 595-613, 2004.