



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para a Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

**Caracterização da textura dos Sedimentos superficiais do fundo do Estuário
de Macuse-Zambézia**



Autor:

Nelson António Artur



ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para a Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

**Caracterização da textura dos Sedimentos superficiais do fundo do Estuário de
Macuse-Zambézia**

Autor:

Nelson A. Artur

Supervisor:

dr. Banito Magestade

Quelimane, Agosto de 2019

Dedicatória

Dedico:

Aos meus irmãos: Inês Artur; Felisberto Cabazar; Cidalina Binda; Sónia Fany; Julia Cabazar; Artur Cabazar; Rute Meneses por incansavelmente terem-me apoiado tanto emocionalmente como financeiramente.

Aos estudantes da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, especialmente aos de Geologia Marinha.

Aos que direta e indirectamente alavancaram todo o esforço possível para tornar este feito notável.

Agradecimentos

Agradeço a Deus todo soberano por estar sempre presente em todo meu percurso, instruindo-me, corrigindo-me e acima de tudo consolando-me.

Agradecimentos em especial ao dr. Banito Magestade e a dra. Carlota Álvés pelo acompanhamento, paciência abrindo novos horizontes.

Imensurável agradecimento aos meus irmãos e a minha amabilíssima namorada Belquisse J. M. de Almeida.

Aos docentes da ESCMC, que transmitiram a ciência, construíram o conhecimento e ensinaram-me valores que tornaram-me cosmo visionário em Ciências Marinhas e Costeiras.

A todos meus colegas da turma de Geologia Marinha 2015 e da academia, em especial o Sr. Chakanga, Lai wa Maneque, António j. Cumbi, Andre Enoque, Justino Chipanga, Alberto Jeque, Gesica Canivete, Fatima Lisboa, Suraya Vitaldas, Jorge Catandica, Calmira Oficene, Zuneide Yura, Orlando Guta, Seven Nhampossa, Sérgio Caetano, Leovistónia Cumbe, Luisa Jaqueline, Páscoa Das dores pelo companheirismo e apoio que prestaram em mim durante os 4 anos intenso e de muita aprendizagem.

Declaração de honra

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado do meu labor individual. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de licenciatura em Geologia Marinha, da Universidade Eduardo Mondlane.

Assinatura

(Nelson António Artur)

Quelimane, 2019

Resumo

A presente pesquisa teve como objectivo principal caracterizar a textura dos sedimentos superficiais do fundo do estuário de Macuse - Zambézia, através das análises granulométricas da conjugação dos parâmetros estatísticos propostas por (Folk e Ward, 1957). Amostras de sedimentos foram colectadas longitudinalmente em 16 pontos paralelamente a linha da costa ao longo do canal estuarino com recurso a amostrador de fundo do tipo Van-Veen com boa recuperação em águas rasas. Para a obtenção dos resultados apresentados, as mesmas foram submetidas a análises granulométricas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane (UEM) usando as técnicas de crivagem e pipetagem. No geral, a classe textural mais representativa é a Areia contendo 56%, seguida de Silte com 32% e a Argila com aproximadamente 12%, a Areia muito fina ocorre preferencialmente nas zonas de maior nível energético (da zona de mistura em direcção a zona de turbidez) comparativamente a Silte e Argila. A Areia e o Silte encontram-se distribuídos em proporções aproximadas ao longo da zona de mistura, a Argila no tocante a sua distribuição, é praticamente inexistente ao longo do canal estudado.

Palavras-chaves: Textura Sedimentar; Estuário de Macuse; Parâmetros estatísticos.

Abstract

The main objective of this research was to characterize the texture of the surface sediments of the Macuse - Zambézia estuary, through the particle size analysis of the statistical parameters proposed by (Folk and Ward, 1957). Sediment samples were collected longitudinally at 16 points parallel to the coastline along the estuarine channel using a Van-Veen type bottom sampler with good recovery in shallow water. To obtain the presented results, they were submitted to particle size analysis in the Sedimentology Laboratory of the Department of Geology of Eduardo Mondlane University (UEM) using sieving and pipetting techniques. In general, the most representative textural class is Sand containing 56%, followed by Silte with 32% and Clay with approximately 12%, very fine sand occurs preferably in the zones of higher energy level (from the mixing zone towards the zone turbidity) compared to Silt and Clay. The sand and the sand are distributed in approximate proportions along the mixing zone, the clay in relation to its distribution, is practically non-existent along the channel studied.

Keywords: Sedimentary texture; Macuse estuary; statistical parameters.

Tabela de abreviaturas

ZM	Zona de Mistura
ZC	Zona Costeira
ZR	Zona de Mare do Rio
CLC	Camada Limite Costeira
SÉC.	Século
g	Gramma
Km	Quilometro
Cm	Centímetro
%	Porcentagem
σ	Desvio padrão
Φ	Phi
°C	Grau celsius
GPS	Sistema de Posicionamento Global
mm	Melometro
Mz	Diametro Médio
UEM	Universidade Eduardo Mondlane

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama esquemático das regiões funcionais de um estuário: Zona de Maré do Rio (ZR), Zona de Mistura (ZM) e Zona Costeira (ZC), juntamente com a delimitação funcional de um sistema estuarino hipotético.....	6
Figure 2: Localização da área de estudo no contexto do litoral de Moçambique, sudeste Africano	11
Figura 3: Colecta das amostras usando amostrador superficial do fundo do tipo Van-Veen no canal do Estuário de Macuse.....	12
Figure 4: Materiais utilizados para a Crivagem (a); Pipetagem (b) e Secagem (c)	13
Figura 5: Diâmetro Médio dos sedimentos (a) e a Variação textural global dos sedimentos presentes no estuário de Macuse (b).....	15
Figura 6: Seleccionamento das partículas ao longo do canal estuarino	17
Figura 7: Tendências assimétricas dos sedimentos ao longo do canal estuarino.....	17

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação granulométrica de Udden-Wentworth, os valores expressos em mm e phi e terminologia de Wentworth traduzida por (Suguio, 1973).	7
Tabela 2: Características das principais classes texturais.....	8
Tabela 3: Métodos recomendados para determinação da granulometria em sedimentos não-consolidados (Muller, 1967).	9
Tabela 4: Classificação das amostras pelo desvio padrão pelo Método Gráfico (Fonte: FOLK & WARD, 1957).	10
Tabela 5: Classificação das amostras pela assimetria pelo Método Gráfico (Fonte: FOLK & WARD, 1957).	10
Tabela 6: Fórmulas de Estimativa dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957).	14
Tabela 7: Distribuição dos sedimentos ao longo do canal estuarino de Macuse.	18

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Problematização.....	3
1.2.	Justificativa.....	3
2.	Objectivos.....	4
2.1.	Objectivo Geral.....	4
2.2.	Objectivo Específico	4
3.	REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1.	Generalidades	5
3.2.	Análise Textural	6
3.3.	Divergências e Convergências Terminológicas	7
3.4.	Classes Texturais	8
3.5.	Análise granulométricas.....	8
3.6.	Métodos Granulo métricos	9
3.6.1.	Granulometria de Sedimentos Grosseiros:.....	9
3.6.2.	Granulometria de Finos.....	9
3.7.	Parâmetros estatísticos	9
4.	METODOLOGIA.....	11
4.1.	Área de estudo	11
4.2.	Material e Métodos	11
4.3.	Preparação das amostras	12
4.4.	Determinação das dimensões dos sedimentos superficiais do fundo	13
4.5.	Cálculos de parâmetros estatísticos	14
4.6.	Análise da distribuição espacial dos sedimentos ao longo do estuário.....	14
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5.1.	Sedimentos superficiais do fundo do Estuário de Macuse.....	15
5.1.1.	Diâmetro médio (Mz)	15
5.1.2.	Desvio-padrão (σ).....	16

5.1.3.	Assimetria (SK)	17
5.2.	Distribuição espacial dos sedimentos ao longo do estuário	18
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	19
6.1.	Conclusões	19
6.2.	Recomendações	19
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	20
8.	ANEXOS.....	22

1. INTRODUÇÃO

Sedimento é a partícula derivada da rocha ou materiais biológicos, originados por processos físicos/químicos que pode ser transportado pela água e vento, do lugar de origem até locais de deposição como rios, lagos ou mar (Carvalho, 1994).

Determinadas propriedades físicas dos sedimentos são fundamentais para estudar os depósitos sedimentares e a dinâmica sedimentar que os originou. Alguns dos parâmetros determinantes são a densidade, a forma e a rugosidade da superfície das partículas, bem como a granulometria dos sedimentos. No entanto, a propriedade mais ressaltante dos sedimentos é, provavelmente, a dimensão das partículas que os compõem (Dias, 2004).

Os sedimentos de fundo das embocaduras dos estuários são uma mistura de material de origem fluvial e marinha. Estes materiais experimentam a influência de diversos factores naturais e antropogénicos. A sua textura e composição reflectem a sua origem e os processos geodinâmicos a que estiveram sujeitos tanto no mar como em terra, o que lhes associa a um vasto leque de interesses científicos e económicos. As variações na textura dos sedimentos superficiais do fundo dos estuários ao longo da costa e seu padrão de distribuição fornecem valiosas informações sobre os principais processos actuantes nestes ambientes, onde o tamanho e a constituição dos grãos que formam a batimetria deste canal deduzem especificamente as condições hidrodinâmicas, a capacidade de adsorção dos poluentes, a erosão entre os demais processos (Laybauer e Bidone, 2001).

Os ambientes Estuarinos podem ser definidos de várias maneiras de acordo com a formação do especialista. Do ponto de vista geológico os estuários são feições efémeras, cujo tempo de existência depende do balanço entre as taxas de sedimentação e as taxas de subida/descida do nível do mar. Em períodos de estabilidade do nível do mar, os estuários tendem a ser preenchidos pelos sedimentos trazidos pelas correntes de maré e pelos rios que desaguam no estuário. Este processo de preenchimento é complexo e depende de diversos factores, tais como: configuração geológica da costa, morfologia da plataforma interna, variação relativa do nível do mar nos últimos milénios, dinâmica costeira (ondas, marés e correntes) e sedimentos (Roy, 1984).

Os estuários são ambientes complexos com grande importância económica, social e ecológica. Muitas das grandes cidades portuárias desenvolveram-se em zonas estuarinas por serem áreas privilegiadas para a fixação das populações, fornecendo uma localização propícia de portos, actividades pesqueiras, lazer até mesmo desportos náuticos.

Estudos que visam caracterizar a textura e a distribuição sedimentar dos estuários são importantes para identificação de possíveis zonas de acúmulo de poluentes e sedimentos, além de contribuir para o conhecimento dos sistemas estuarinos e do seu comportamento quanto à distribuição das características sedimentares e físicas. Neste âmbito, tanto a análise sedimentar quanto o mapeamento de fundo são ferramentas imprescindíveis que já vêm sendo aplicadas com sucesso no estudo dos ambientes marinhos e costeiros em geral (Folk e Ward, 1957; Neto, 2000; Quaresma, 2009).

Os estuários de Moçambique são as principais vias de transferência de água doce, sedimento, nutrientes e poluentes da região continental para o Oceano Índico. Grande parte do material sedimentar estuarino é proveniente da erosão da bacia de drenagem, cujos principais constituintes são Silte e Argila, que compõem partículas inferiores, que também foram identificadas por Schettini (2003) no estudo da dinâmica lateral e dos mecanismos de transporte de sedimentos no Estuário do Rio Camboriú, Brasil e por Maússe (2018) no estudo da Evolução temporal da Hidrodinâmica do Estuário dos Bons sinais, aplicando o diagrama de Hjustrom e Pejrup.

Dos poucos estudos referentes a caracterização textural e a dinâmica sedimentar ao longo da costa Moçambicana, há por destacar o estudo de Miguel *et al.*, (2016) referente a Mecânica do transporte de sedimentos em suspensão, no estuário de Macuse.

O mesmo estuário, já foi referência regional no transporte de vários produtos e mercadorias para a região centro de Moçambique e para os países vizinhos (Malawi, Zimbabwe e Zâmbia) através do porto de Macuse. Num passado recente projectos conduziram o governo de Moçambique a decisão definitiva de construção de um porto de águas pouco profundas neste estuário.

Segundo Jensen (1999), o projecto de construção de um porto num estuário, exemplo do Rio Macuse, requer estudos prévios de dinâmica sedimentar e da geomorfologia, que podem auxiliar na identificação de graves problemas de assoreamento periódicos ou contínuos.

No entanto nenhum estudo referente a dinâmica sedimentar dos sedimentos superficiais do fundo foi realizado ao longo deste estuário e outros tantos estuários ao longo da costa Moçambicana. Nesta perspectiva, objectiva-se através do presente estudo caracterizar a textura e a distribuição sedimentar dos sedimentos superficiais do fundo do estuário de Macuse.

1.1. Problematização

O Estuário de Macuse é um sistema estuarino da região leste da África austral que apresenta grande importância socioeconómica devido a sua localização geográfica e as características geomorfológicas ímpares. Apesar disto, este ambiente apresenta poucos estudos relacionados às suas características geológicas. Esta situação leva a um fraco entendimento dos processos actuantes neste sistema estuarino, tais como a erosão, transporte e a deposição de sedimentos. Ademais, numa visão mais abrangente, este défice no estado de conhecimento daquele sistema estuarino compromete a compreensão do comportamento hidrológico daquela área da bacia do Rio Macuse, visto que tal depende das características climáticas da região assim como das características geométricas e físicas (geologia, textura e uso dos solos, etc.).

1.2. Justificativa

A variação textural dos sedimentos superficiais do fundo pode levar a uma melhor compreensão das tendências naturais do ambiente estuarino. Desta forma caracterizar a textura dos sedimentos do fundo ajuda a entender os processos de erosão, transporte e deposição. A granulometria dos sedimentos representa um compartimento integrador e um dos melhores meios concentradores de poluentes. Neste contexto, o estudo é crucial sob ponto de vista de monitoramento ambiental produzindo dados que poderão ajudar a comunidade científica face aos eventuais problemas decorrentes dos processos estuarinos bem como a toda comunidade que pode vir a ser afectada negativamente por estes processos. De igual modo, este estudo produz dados e informação de interesse no capítulo da hidrologia, por ser parte integrante da hidrologia de um determinado local.

2. Objectivos

2.1. Objectivo Geral

- Caracterizar a textura dos sedimentos superficiais do fundo do Estuário de Macuse.

2.2. Objectivo Específico

- Determinar as dimensões dos sedimentos superficiais do fundo do Estuário;
- Analisar a distribuição espacial dos sedimentos ao longo do Estuário.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Generalidades

Sedimento

Sedimento é a partícula derivada da rocha ou materiais biológicos, originados por processos físicos ou químicos que podem ser transportados pela água e vento, do lugar de origem até locais de deposição como rios, lagos ou mar (Carvalho, 1994).

Estuário

Os estuários são feições efémeras, cujo tempo de existência depende do balanço entre as taxas de sedimentação e as taxas de subida/descida do nível do mar. Em períodos de estabilidade do nível do mar, os estuários tendem a ser preenchidos pelos sedimentos trazidos pelas correntes de maré e pelos rios que desaguam no estuário. Segundo a gênese Geológica e os processos regionais que contribuem para formação destes ambientes, os estuários podem ser divididos em três zonas distintas:

- **Zona de Maré do Rio (ZR)** – é a parte fluvial do estuário, com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência da maré;
- **Zona de Mistura (ZM)** – corresponde ao estuário propriamente dito e é definida como a região onde ocorre a mistura da água doce proveniente do aporte fluvial gerado pela drenagem continental com a água do mar;
- **Zona Costeira (ZC)** – trata-se da região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina de maré vazante, cuja extensão delimita a Camada Limite Costeira (CLC), sendo esta caracterizada por águas mais turvas que as do oceano aberto.

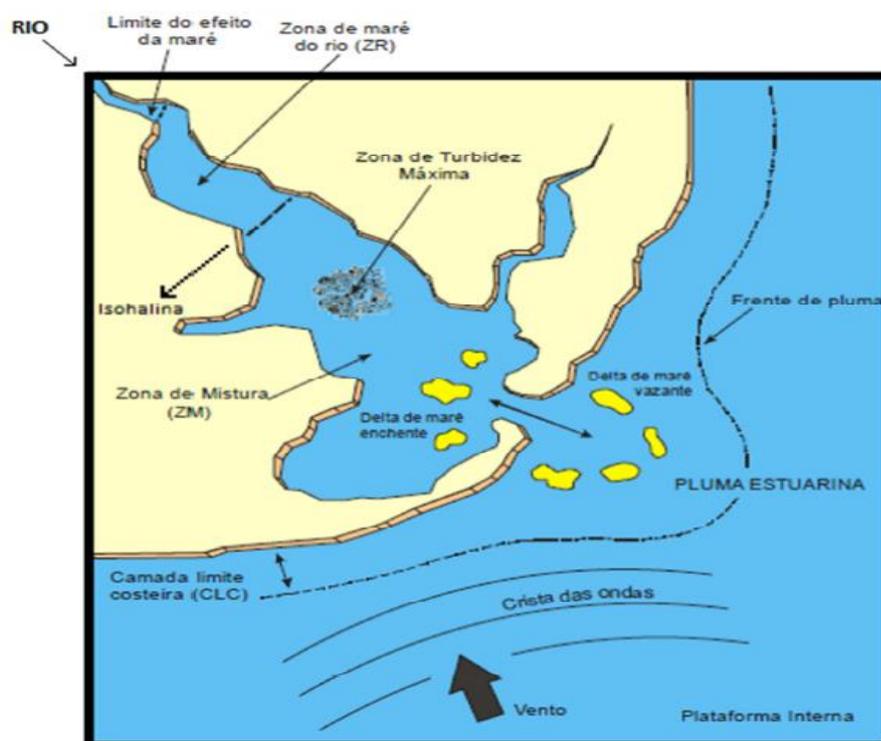


Figura 1: Diagrama esquemático das regiões funcionais de um estuário: Zona de Maré do Rio (ZR), Zona de Mistura (ZM) e Zona Costeira (ZC), juntamente com a delimitação funcional de um sistema estuarino hipotético.

3.2. Análise Textural

Determinadas propriedades físicas dos sedimentos são fundamentais para estudar os depósitos sedimentares e a dinâmica sedimentar que os originou. Alguns dos parâmetros determinantes são a densidade, o tamanho, a forma e a rugosidade da superfície das partículas, bem como a granulometria dos sedimentos. No entanto, a propriedade mais ressaltante dos sedimentos é, provavelmente, a dimensão das partículas que os compõem. Neste aspecto, a primeira abordagem, e a mais simplista, é a quantificação por grandes classes dimensionais, ou seja, a “Análise Textural”. Essa análise, que até finais do século XIX era feita, principalmente, de forma intuitiva, começou, então, a ser efectuada com bases científicas. Desde tempos remotos que o Homem começou a tentar proceder à classificação dos sedimentos com base nas classes texturais aí presentes, aplicando terminologias que, com frequência, acabaram por ser adoptadas pela comunidade científica. Termos como "Lodo", "Argila", "Areia", "Cascalho", “Seixo” e “Balastro” foram efectivamente importados da linguagem comum.

3.3. Divergências e Convergências Terminológicas

As designações utilizadas para descrever os sedimentos são muitas e variadas, mesmo na comunidade científica. Desde o século XIX que foram propostas várias classificações dos sedimentos baseadas na dimensão das suas partículas constituintes. Entre as mais conhecidas podem referir-se as de Udden, de Wentworth, de Atterberg (que em 1927 foi adoptada pela Comissão Internacional de Ciência dos Solos). Um dos principais problemas relacionados com a classificação dos sedimentos é ausência de definições consensualmente aceites dos limites dimensionais das classes texturais que os constituem.

Tabela 1: Classificação granulométrica de Udden-Wentworth, os valores expressos em mm e phi e terminologia de Wentworth traduzida por (Suguio, 1973).

NOME	LIMITES DE CLASSE (mm)	LIMITES DE CLASSE (ϕ)
Matacão (boulder)	4096 a 256	-12 a -8
Bloco (cobble)	256 a 64	-8 a -6
Seixo (pebble)	64 a 4,0	-6 a -2
Grânulo (granule)	4,0 a 2,0	-2 a -1
Areia muito grossa (very coarse sand)	2,0 a 1,0	-1 a 0
Areia grossa (coarse sand)	1,0 a 0,5	0 a 1
Areia média (medium sand)	0,5 a 0,25	1 a 2
Areia fina (fine sand)	0,25 a 0,125	2 a 3
Areia muito fina (very fine sand)	0,125 a 0,0625	3 a 4
Silte grosso (coarse silt)	0,0625 a 0,031	4 a 5
Silte médio (medium silt)	0,031 a 0,0156	5 a 6
Silte fino (fine silt)	0,0156 a 0,0078	6 a 7
Silte muito fino (very fine silt)	0,0078 a 0,0039	7 a 8
Argila (Clay)	0,0039 a 0,00006	8 a 14

Todavia, e apesar de todas estas divergências, em oceanografia há muito que existe certa convergência nas definições dimensionais das principais classes texturais presentes nos sedimentos marinhos e costeiros. Assim, designam-se normalmente por:

- **Cascalho** - conjunto de partículas com dimensões superiores a 2mm;
- **Areia** - conjunto de partículas com dimensões entre 2mm e 63m;
- **Silte** - conjunto de partículas com dimensões entre 63m e 4m (ou 2m);
- **Argila** - conjunto de partículas com dimensões inferiores a 4m (ou 2m).

3.4. Classes Texturais

Considera-se, em geral, que os sedimentos são fundamentalmente constituídos por 4 classes texturais com propriedades físicas relativamente distintas: Cascalho, Areia, Silte e Argila.

Em oceanografia geológica verifica-se a tendência para integrar todas outras classes com dimensões maiores numa única, sob a designação genérica de cascalho.

Tabela 2: Características das principais classes texturais

	Cascalho	Areia	Silte	Argila
Dimensões	Superiores a 2mm	Entre 2mm e 63 μ	Entre 63 μ 4 μ	Inferiores a 4 μ
Elementos terrígenos	Em geral poliminerálicos	Monominerálicos	Monominerálicos variados	Predominantemente formados por minerais de Argila
Elementos bioclásticos	Conchas de moluscos, fragmento de corais.	Em geral níveis de diversidade indirectamente proporcional a dimensão das fracções granulométricas da Areia	Microorganismos variados	Microorganismos variados
Coesão entre partículas	Ausência de coesão entre as partículas mesmo quando molhadas	Ausência de coesão quando os sedimentos estão secos, quando húmidas, as partículas aderem-se uma das outras devido a tensão superficial	Coesão mesmo seco	Elevada Coesão mesma seco
Transporte	Normalmente efectuado por rolamento	Por rolamento ou saltação quando a velocidade do fluxo for elevada	Em suspensão (em princípio ausência de transporte por saltação)	Em suspensão (ausência de transporte por rolamento e saltação)

3.5. Análise granulométricas

As partículas sedimentares apresentam dimensões com variabilidade muito elevada. Na Natureza encontram-se depósitos sedimentares constituídos por elementos com decímetros a metros de diâmetro. A análise das dimensões das partículas é importante, permite deduzir indicações preciosas, entre outras, sobre a proveniência (designadamente sobre a disponibilidade de determinados tipos de partículas e sobre as rochas que lhes deram origem), sobre o transporte

(utilizando, por exemplo, o conceito de maturidade textural e a resistência das partículas, segundo a sua composição, abrasão e à alteração química), e sobre os ambientes deposicionais.

3.6. Métodos Granulo métricos

3.6.1. Granulometria de Sedimentos Grosseiros:

Método da Peneiração

O método mais divulgado para efectuar a análise granulométrica de sedimentos grosseiros é o da peneiração. Um peneiro para este tipo de análise sedimentológica consiste num suporte metálico (latão, alumínio, inox, etc.) cilíndrico que serve de suporte a uma rede geralmente metálica de malha calibrada. A escolha da série de peneiros é em função dos objectivos, geralmente utiliza-se, uma série de peneiros de ϕ em ϕ , isto é, peneiros com malhas de 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,250mm, 0,125mm e 0,063mm.

3.6.2. Granulometria de Finos

Método da Pipetagem (Análise Descontínua por Sedimentação)

Neste método determina-se a quantidade de material fino existente em fracções dimensionais previamente estabelecidas, tirando proveito das velocidades de sedimentação de cada uma dessas fracções, delas retirando alíquotas por pipetagem.

Tabela 3: Métodos recomendados para determinação da granulometria em sedimentos não-consolidados (Muller, 1967).

Tamanho do grão (mm)	Método	Quantidade necessária
> 100	Medição directa	Matacões individuais mínimo 300 partículas
100 a 20	Peneiramento ou medição directa	Seixos individuais mínimo 300 partículas
20 a 0,063	Peneiramento (crivagem)	Grânulo: 1kg; Areia: 100g
0,063 a 0,002	Sedimentação em campo gravitacional ou Pipetagem	1-20g
< 0,002	Sedimentação em centrífuga	1 – 5g
	Medição com microscópio electrónico	0,1 – 0,5g

3.7. Parâmetros estatísticos

O tratamento de dados de granulometria é feito pela estatística convencional baseada na distribuição normal para obtenção dos parâmetros estatísticos (moda, mediana, média, desvio-padrão, grau de

assimetria e de Curtose). Flemming (2007) com base nas análises granulométricas foi capaz de deduzir a origem distribuição dos sedimentos ao longo duma bacia sedimentar na Islândia. Portanto os parâmetros estatísticos são importantes para interpretação granulométrica (Folk e Ward, 1957):

Média (Mz)

Indica a magnitude do diâmetro dos grãos, isto é, o tipo de grão em média pode existir nesse local. O diâmetro mais abundante, indica a predominância de uma dada granulometria (Folk e Ward, 1957).

Desvio-padrão (σ)

Geologicamente o desvio-padrão descreve a selecção dos sedimentos em relação a quantidade de energia predominante (Folk e Ward, 1957).

Tabela 4: Classificação das amostras pelo desvio padrão pelo Método Gráfico (Fonte: FOLK & WARD, 1957).

Classificação	Desvio-padrão (σ)
Muito bem seleccionado	< 0,35
Bem seleccionado	0,35 a 0,50
Moderadamente bem seleccionado	0,50 a 0,71
Moderadamente seleccionado	0,71 a 1,0
Mal seleccionado	1,0 a 2,0
Muito Mal seleccionado	2,0 a 4,0
Extremamente Mal seleccionado	> 4,0

Assimetria (SK)

As distribuições de frequência com assimetria positiva indicam predominância de fracções de sedimentos finos, e assimetria negativa indicam predominância de fracções grossas em torno da energia predominante para seu transporte (Folk e Ward, 1957).

Tabela 5: Classificação das amostras pela assimetria pelo Método Gráfico (Fonte: FOLK & WARD, 1957).

Classificação	Assimetria (SK)
Assimetria Muito Positiva	1,0 a 0,3
Assimetria Positiva	0,3 a 0,1
Quase Simétrica	0,1 a -0,1
Assimetria Negativa	-1,0 a -0,3
Assimetria Muito Negativa	-0,3 a -0,1

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O estuário de Macuse localiza-se na Província da Zambézia, no centro de Moçambique, na região leste da África Austral (Figura 2). Insere-se administrativamente no Distrito de Namacurra, entre as coordenadas geográficas, 17° 48' 1,43'' S de latitude e 37° 04' 00'' E de longitude. Limita-se a leste pelo Oceano Índico, a norte e oeste pelo Posto Distrital de Namacurra Sede e a Sul pelo Distrito de Nicoadala. Esse estuário constitui um dos meios de navegação fluvial da zona centro de Moçambique, e é importante no desenvolvimento de várias actividades económicas portuárias com grande impacto na Província da Zambézia e alguns países do interior da África Austral (Zimbabwe, Zâmbia e Malawi).

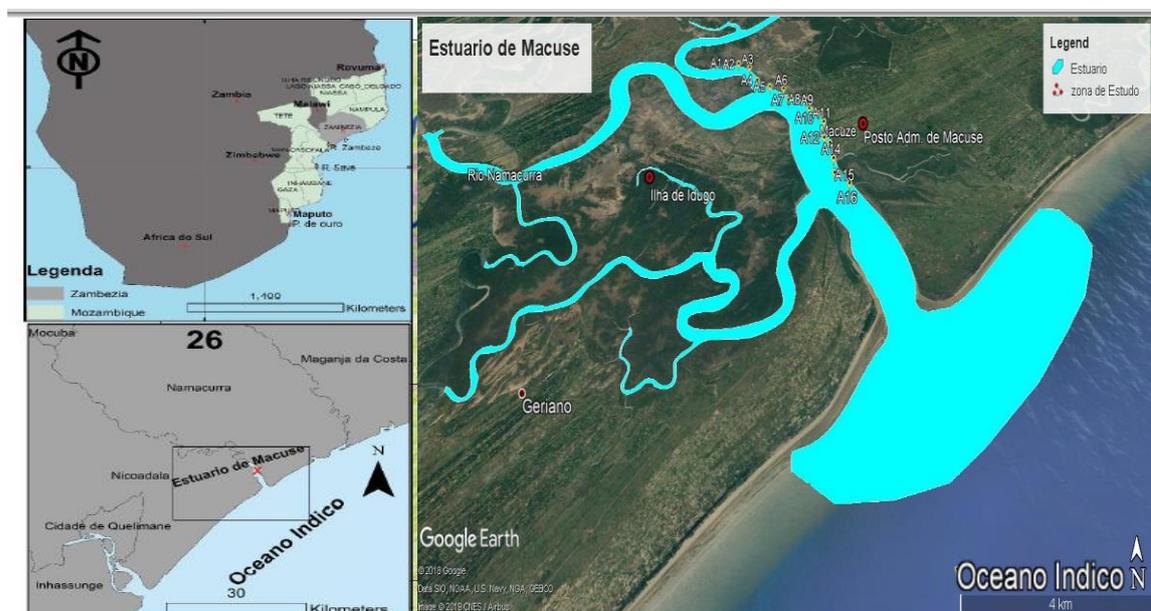


Figure 2: Localização da área de estudo no contexto do litoral de Moçambique, sudeste Africano

4.2. Material e Métodos

Amostras de sedimentos superficiais do fundo, num total de 16, foram colectadas longitudinalmente a 30 de Junho de 2018 em maré de Quadratura. Para a colecta das amostras no campo, utilizou-se uma embarcação de pequeno porte que permitiu colectar as amostras ao longo do canal, sendo estas georreferenciadas por um GPS. As amostras foram colectadas por um amostrador de fundo do tipo Van-Veen (Figura 3) e colocadas em saquetas plásticas para a sua devida conservação. De forma aleatória, foram definidos 16 pontos de amostragem com separação de 1 km entre eles, as amostras foram colhidas paralelamente à linha de costa, em águas pouco profundas, tendo em conta a capacidade do amostrador dos sedimentos superficiais do fundo.



Figura 3: Colecta das amostras usando amostrador superficial do fundo do tipo Van-Veen no canal do Estuário de Macuse.

Após a colecta das amostras, os sedimentos foram levados ao laboratório de solos na Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras Zambézia onde foram colocadas em taras para sua secagem numa estufa a 60°C durante 24h do modo a remover toda a humidade. Em seguida as amostras totalmente secas foram colocadas em saquetas plásticas devidamente etiquetadas e posteriormente enviadas para o Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia, localizado na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane - Maputo, para a realização das análises granulométricas.

As amostras foram submetidas as análises sedimentológicas, tais como, peneiramento a seco para separar a fracção areia (> 0,062 mm) das fracções Silte/Argila (<0,062 mm), e pipetagem para determinar a quantidade de material fino existente em fracções dimensionais previamente estabelecidas, tirando proveito das velocidades de sedimentação de cada uma dessas fracções. As amostras foram classificadas granulometricamente de acordo com a classificação proposta por (Larsonneur, 1977).

Os dados resultantes dos procedimentos de peneiramento e pipetagem foram convertidos, a partir do programa *Microsoft Excel* em informações gráficas e numéricas que caracterizam as amostras analisadas. Foram calculados os parâmetros estatísticos (Diâmetro médio, Desvio padrão e Assimetria), conforme (Folk e Ward, 1957).

4.3. Preparação das amostras

Vassma (2008) em seus estudos provou que o excesso de concentração de matéria orgânica nos sedimentos finos interfere nos resultados da caracterização granulométrica dos sedimentos. Para evitar tal interferência as amostras colectadas foram pesadas de modo a se ter 20g de cada ponto

amostral e foram submetidas a uma solução contendo Peróxido de Hidrogénio (3%) e água destilada (1,5L) para eliminação dos carbonatos e a matéria orgânica num período de 24h. Após este procedimento as amostras foram colocadas novamente a secagem na estufa a 60°C durante 24h para se ter o peso total da amostra sem a presença dos carbonatos e a matéria orgânica.

4.4. Determinação das dimensões dos sedimentos superficiais do fundo

Peneiramento ou Crivagem

Após a secagem na estufa, o material foi submetido ao jogo de peneiras com malhas de 2.000, 1.000, 0.710, 0.500, 0.355, 0.250, 0.180, 0.125, 0.075 e 0.063 mm tendo em conta a escala granulométrica de Wentworth (1992). As peneiras foram montadas umas sobre as outras de forma que a abertura das malhas decrescesse de cima para baixo e no final foi colocado um prato de fundo e posteriormente agitadas manualmente (Figura 3a). O material retido em cada peneira foi pesado numa balança digital para obtenção das concentrações de fracções de areia de cada amostra.

Pipetagem

Os sedimentos de fracção menor em relação a classe granulométrica de areia foram colocados em provetas de 1000 ml, em seguida adicionou-se 25 ml de dispersante (Pirofosfato de Sódio) e completou-se o volume adicionando água destilada até 1000ml. Em seguida os sedimentos foram colocados em recipientes de vidro e inseridos na estufa a uma temperatura de 60°C durante 24h, após ter secado foi pesado na balança digital. A partir dos pesos obtidos, foram feitas as diferenças das fracções 0.050-0.032, 0.032-0.016, 0.0016-0.008, 0.008-0.002 e 0.002 mm de concentração do agente dispersante, para o cálculo das concentrações das fracções correspondentes à 0.050, 0.032, 0.016, 0.008 e 0.002 mm respectivamente.



Figure 4: Materiais utilizados para a Crivagem (a); Pipetagem (b) e Secagem (c)

4.5. Cálculos de parâmetros estatísticos

Os resultados das análises granulométricas, convertidos em valores percentuais foram exportados para o programa computacional electrónico denominado *Software Sysgran*, com o objectivo de determinar os parâmetros estatísticos (Diâmetro médio, Desvio padrão e Assimetria) descritos por Folk e Ward (1957).

Tabela 6: Fórmulas de Estimativa dos Parâmetros Estatísticos (Folk & Ward, 1957).

Média	$Mz = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3}$	Φ_{16} – Média dos sedimentos 1/3 mais grossos da amostra; Φ_{50} – Média da amostra total; Φ_{84} – Média dos sedimentos 1/3 mais finos;
Desvio Padrão	$\Sigma = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6,6}$	Φ_5 e Φ_{95} (os quais indicam que 90% da curva é considerada.
Assimetria	$Sk = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$	

4.6. Análise da distribuição espacial dos sedimentos ao longo do estuário

Após a obtenção dos pesos das fracções granulométricas (Areia, Silte e Argila), os mesmos foram convertidos em valores percentuais e digitados em planilhas do *Microsoft Excel* para o plot de gráficos de distribuição granulométrica ao longo do canal do estuário.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Sedimentos superficiais do fundo do Estuário de Macuse

5.1.1. Diâmetro médio (Mz)

O diâmetro médio gráfico reflecte o tamanho médio dos sedimentos presentes no estuário de Macuse, representado por ϕ (tamanho médio dos sedimentos) sendo este parâmetro um índice de condições energéticas. Os valores obtidos para o diâmetro médio dos sedimentos do estuário de Macuse variam de 2.8 ϕ a 4.8 ϕ com um valor médio de 3.8 ϕ . Figura (5) O valor da média mostra o domínio da Areia com aproximadamente 56% e o restante é composta por quantidades de lodo (Silte com 32% e Argila com apenas 12%). Figura (5b)

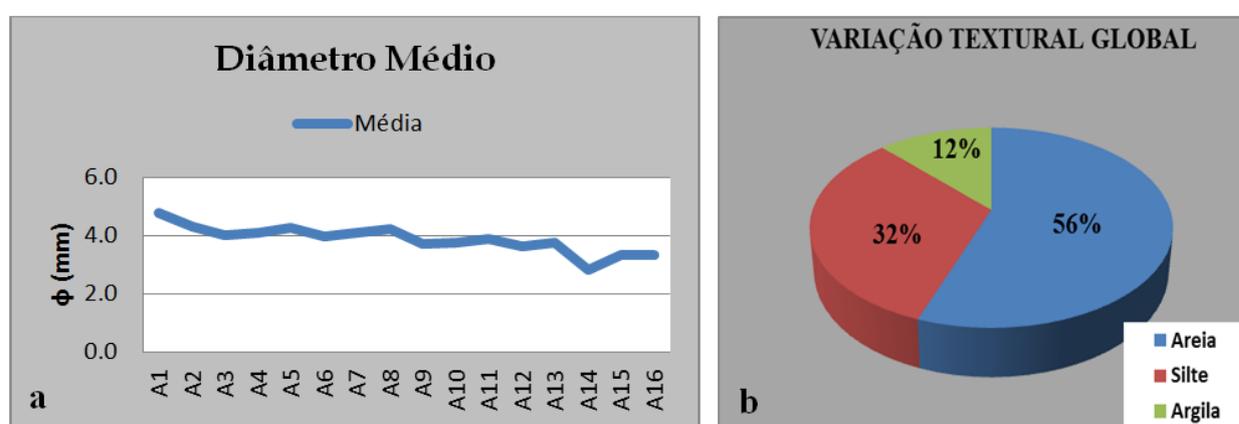


Figura 5: Diâmetro Médio dos sedimentos (a) e a Variação textural global dos sedimentos presentes no estuário de Macuse (b).

A representatividade destas classes texturais (Areia, Silte e Argila) nos sistemas estuarinos converge com os estudos realizados por Corrêa (2005) Aplicando o Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó em Brasil e Santos (2010) Paleoestratigrafia da formação da Bacia de Porto Alegre em Portugal. Ambos caracterizando o factor clima destas regiões como a principal causa destes ambientes apresentarem classes texturais similares e também por serem um ambiente de transição entre o oceano e continente.

O domínio da classe textural de Areia pode estar ligada ao facto destes sedimentos estarem localizadas na zona de mistura, caracterizada pela mistura de massas de água e de fortes gradientes, físicos, químicos e biológicos, permitindo deste modo a deposição de sedimentos maiores em relação aos sedimentos mais finos como de Silte e Argila que geralmente depositam-se em locais de baixa energia.

Maússe (2018) reporta no seu estudo da aplicação do diagrama de Hjulstrom e Pejrup no estudo da evolução temporal da hidrodinâmica do Estuário dos Bons Sinais, que a classe textural de maior domínio dependerá da intensidade das forças hidrodinâmicas que actuam no ambiente.

Mohan (1990) no seu estudo sobre a textura, mineralogia e geoquímica dos sedimentos modernos do estuário Velhoso, constatou que em um canal de fluxo como o estuário, uma progressiva diminuição ou aumento da velocidade do movimento da água, causado pelas mudanças sazonais nas descargas médias, leva ao transporte diferencial do sedimento. Podendo ser transportados ao canal sedimentos de maior diâmetro em períodos de maior velocidade do movimento da água e o inverso em períodos de menor velocidade do movimento da água. Portanto pode-se presumir que a actual diferença textural dos sedimentos presentes no estuário de Macuse esta associada a este fenómeno.

Theil (1940) por sua vez no estudo da resistência relativa à abrasão de grãos minerais de tamanho de areia associa a forte predominância de sedimentos areias em zonas de energia expressas devido a abrasão que estes sedimentos submetem-se ao sentirem o fundo.

5.1.2. Desvio-padrão (σ)

A figura de variação do desvio-padrão apresentada reflecte o processo de selecção a que os sedimentos do estuário foram submetidos, em geral o seleccionamento dos sedimentos em estuários é causado pela diferença da energia cinética associada ao modo de deposição. O Desvio padrão das amostras de sedimentos do Estuário de Macuse varia de pobremente seleccionado a muito pobremente seleccionados (Fig. 6). As variações nos valores da classificação, são provavelmente devido a adição contínua de matérias mais finos ou grossos em proporções variadas.

Os sedimentos pobremente seleccionados e muito pobremente seleccionados encontra-se preferencialmente distribuídos numa forma intercalar sem nenhum padrão de distribuição ao longo do canal estudado, embora o pobre seleccionamento observa-se um predomínio de areia muito fina e Silte grosso, com forte tendência a apresentarem um seleccionamento moderado.

O pobre seleccionamento dos sedimentos ao longo do canal estudado pode estar associado a irregularidade dos níveis energético fenómeno este que resultaria no aumento de partículas finas e consequentemente um pobre seleccionamento (Dias, 2004).

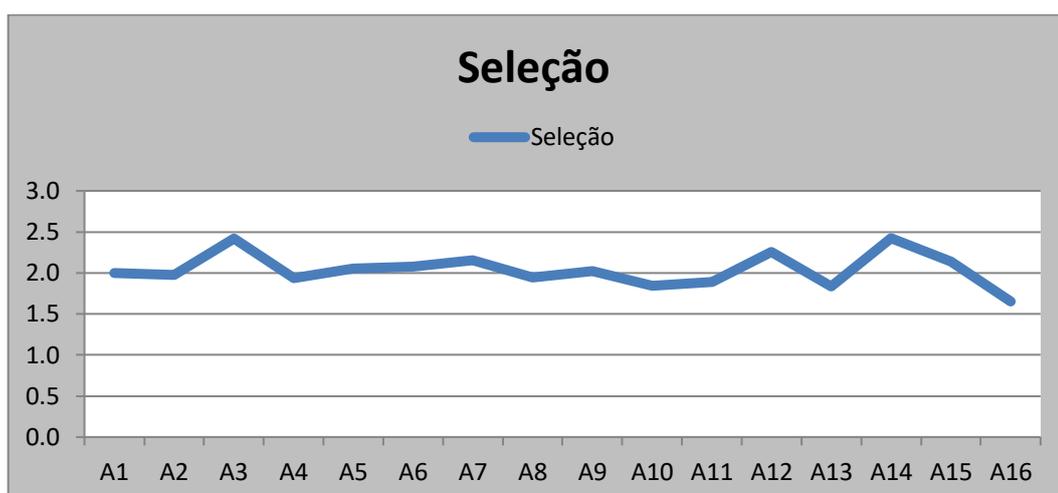


Figura 6: Seleccionamento das partículas ao longo do canal estuarino

5.1.3. Assimetria (SK)

O gráfico de Assimetria é a medida de distribuição simétrica, ou seja, predominância de sedimentos grosseiros ou finos.

O presente gráfico ilustra valores de assimetria positiva a muito positiva, com tendências para sedimentos simétricos (fig. 7), evidenciando deste modo a predominância dos sedimentos finos ao longo do canal estudado.

A natureza dos mesmos pode estar ligada a excesso de descargas fluviais.

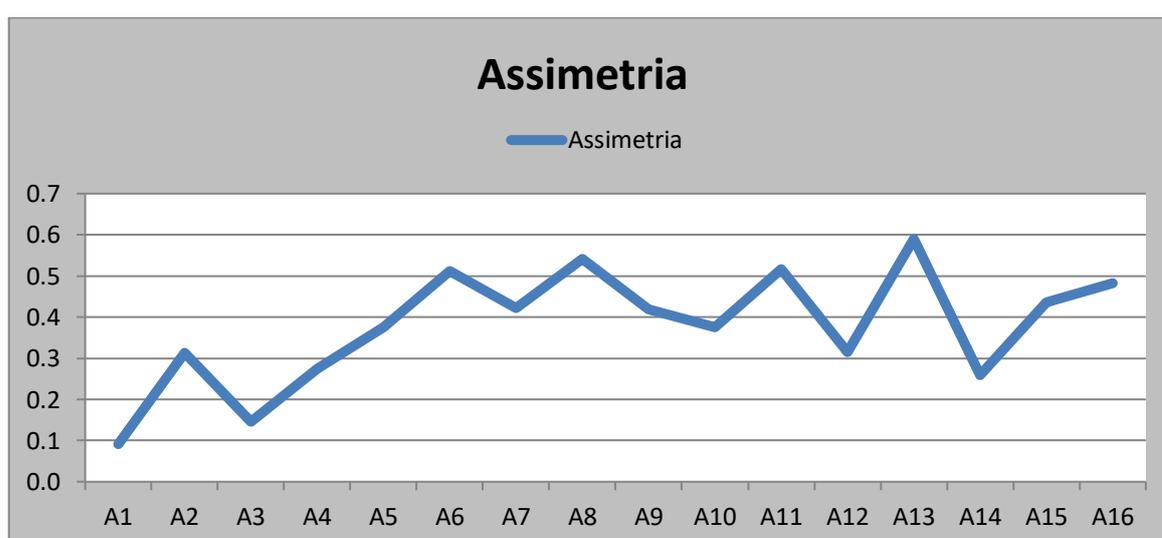


Figura 7: Tendências assimétricas dos sedimentos ao longo do canal estuarino.

5.2. Distribuição espacial dos sedimentos ao longo do estuário

A Areia ocorre preferencialmente na medida em que se sai da zona de mistura (ZM), em direcção a zona de turbidez ou baixa maré (A₉-A₁₆). Nos pontos amostrais (A₁-A₈) a Areia e o Silte encontram-se distribuídos em proporções aproximadas ao longo da zona de mistura, as Argilas no tocante a sua distribuição, são praticamente baixas ao longo da região estudada (Tab.7)

A distribuição dos sedimentos superficiais do fundo do estuário de Macuse certamente está ligada ao seleccionamento promovido pelas correntes de maré, sendo esta região caracterizada por correntes de maior velocidade, Lessa (1991), permitindo assim que sedimentos grossos (Areia) encontram-se distribuídos em locais de maior velocidade e os sedimentos menores (Argila e Silte) encontrem-se distribuídos em locais de baixa velocidade.

Mohan (1990), atribui tais variações texturais ao longo do estuário devido as corrente do rio que perde sua energia mais a jusante devido à variação na salinidade, aumento da profundidade e resistência sustentada oferecida pelo processo de maré.

Tabela 7: Distribuição dos sedimentos ao longo do canal estuarino de Macuse.

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA			
Amostras	% Areia	% Silte	% Argila
A ₁	55.0	44.1	0.9
A ₂	55.0	44.3	0.7
A ₃	53.0	46.2	0.8
A ₄	58.1	41.3	0.6
A ₅	57.0	42.4	0.6
A ₆	57.0	42.6	0.4
A ₇	54.5	45.0	0.5
A ₈	57.7	42.2	0.1
A ₉	65.6	34.1	0.3
A ₁₀	60.7	39.1	0.2
A ₁₁	69.4	30.6	0
A ₁₂	63.0	36.9	0
A ₁₃	70.2	29.8	0
A ₁₄	71.6	27.5	0
A ₁₅	72.7	27.3	0
A ₁₆	79.5	20.5	0

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

No Estuário de Macuse há uma diferença na dinâmica sedimentar, baseado nos parâmetros estatísticos utilizados nas análises sedimentológicas no canal estudado. Estas diferenças sustentam-se a partir das seguintes evidências:

- O diâmetro dos sedimentos superficiais do fundo do estuário de Macuse é caracterizado por três classes texturais, sendo elas: Areia, Silte e Argila;
- A classe textural mais representativa ao longo do estuário é a Areia;
- Há uma relação entre o seleccionamento, diâmetro médio dos Sedimentos colectados.
- Os parâmetros texturais indicam que os sedimentos são de tamanho médio, pobremente seleccionados, positivamente simétricos e depositada sob condições de energia moderada a baixa.
- Os sedimentos de Areia encontram preferencialmente distribuídos ao longo da zona de mistura em direcção a zona de turbidez.

6.2. Recomendações

Para os próximos estudos recomenda-se que:

- Se faça um estudo sazonal da influência das mares na redistribuição dos sedimentos ao longo do Estuário;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Carvalho, N. O. (1994). Hidrossedimentologia Prática. Rio de Janeiro: CPRM. Pag 372
- ✓ Corrêa I. S. (2005) Aplicação do Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó. Tese de licenciatura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- ✓ Dias J. A. (2004). A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Tese de Mestrado. Universidade do Algarve, Portugal.
- ✓ Flemming, B. (2007). Sand and mud analysis of surface sediments of Spiekeroog Island, German Cove, South North Sea, 1985-1991, Department of Marine Sciences, Senckenberg Research Institute.
- ✓ Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). Brazos River Bar: A Study on the Importance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology.*, 2:64-71.
- ✓ Jensen, S., Gassama, M.P., Heidmann, T. (1999). Cosuppression of i transposon activity in *Drosophila* by I-containing sense and antisense transgenes. PhD. Thesis. University of Beiji, United State.
- ✓ Larssonneur, N. (1977). Mapping of deposits on the French continental shelf: method developed and used in the Canal. *J. Rech. Oceanography.* 2: 34-39
- ✓ Laybauer, L. & Bionde, E.D. (2001). Caracterização textural dos sedimentos de fundo do Lago Guaíba (sul do Brasil) e sua importância em diagnósticos ambientais. *Pesquisa em Geociências.*
- ✓ Lessa C. G. (1991). Dinâmica de Maré e Transporte de Sedimentos no Canal de Itajuru, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências.* 1:378-380
- ✓ Maússe A. (2018) Aplicação dos diagramas de Hjulstrom e Pejrup no estudo da evolução temporal da hidrodinâmica do Estuário dos Bons Sinais. Tese de licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane, Quelimane.
- ✓ Miguel I. L.; Nehama F. P. & Castro J. W. (2016). Mecânica do transporte de sedimentos em suspensão no Estuário do Rio Macuse. *Revista Brasileira.*, 3(2): 89-96.
- ✓ Mohan P.M. (1990) Studies on the texture, mineralogy and geochemistry of the ancient sediments of the Vellar estuary. PhD. thesis. Cochin University of Science and Technology. Canada.
- ✓ Muller, J. (1967): Mineralogical-sedimentological research and sediment chemistry of Cross Bank in Florida. *Jornal of Pangea.*, 1: 73-81

- ✓ Neto, J. A. (2000). Composição Mineralógica da Fracção Argilosa nos Sedimentos Superficiais de Fundo da Região Estuarina do Complexo Industrial e Portuário de Saupé. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- ✓ Quaresma, V. S. (2009). Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical. *Revista Brasileira de Geofísica.*, 27 (4): 609-624.
- ✓ Roy, A.D. (1984). Genetic Analysis of a Minute Mutation in the Distal Region of the second *Drosophila Melanogaster* Chromosome. *Journal of Sumer.*, 4: 33-40
- ✓ Santos (2010) Palinoestratigrafia da formação Itaquaquetuba, Bacia de São Paulo. *Revista Brasileira Paleontol.*, 13(3):1-3
- ✓ Schettini C.A.F. (2003). Avaliação da dinâmica lateral e dos mecanismos de transporte no estuário do Rio Camboriú. Tese de Mestrado. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar/Universidade do Vale do Itajaí (CTTMar/UNIVALI).
- ✓ Suguio, R. (1973). Introdução a Sedimentologia. Edgard Blucher/EDUSP, Volume 1. Braler, São Paulo, 317 p.
- ✓ Theil N. (1940) The Relative resistance to abrasion of mineral grains of sand size. *Journal of Sedimentary petrology.*, 10: 103-124.
- ✓ Vaasma, T. (2008). Análise granulométrica de sedimentos lacustres: comparação de métodos de pré-tratamento. *Estonian Journal of Ecology.*, 57 (4): 231-243
- ✓ Wentworth K. (1992) Grain Size Classification The canonical definition of sediment grain sizes. *Journal of Geology.* 6: 23:24

8. ANEXOS