



Escola Superior De Ciências Marinhas e Costeiras
Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Geologia Marinha

*Avaliação da dinâmica morfológica de bancos de areia a partir imagens
de Satélite na Baía de Inhambane*



Autor:

Dário Elias Munguno Zunguze

Quelimane, 2025



Dedicatória

Escola Superior De Ciências Marinhas e Costeiras
Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Geologia Marinha

*Avaliação da dinâmica morfológica de bancos de areia a partir imagens
de Satélite na Baía de Inhambane*

Autor:

Dário Elias Munguno Zunguze
(Dário Elias Munguno Zunguze)

Avaliador:

Nélio Neres Olivé Lita
(Mestre Nélio Sitóe)

Supervisor:

H Machaieie

(Prof. Doutor Hélder Arlindo
Machaieie)

Co-Supervisor:

Oldim Lodes Vilanculo

(Lic. Oldim Lodes Vilanculo)

Dedico este trabalho à minha família,
Meu principal alicerce nesta jornada.

Stélio Mangué
(Lic. Stélio Mangué)

Quelimane, Setembro de 2025

Agradecimentos

Quero antes de tudo, agradecer ao nosso bom Deus que me guiou desde o meu ingresso na universidade até ao dia de hoje.

De igual modo e ainda mais especial, quero agradecer a minha família, aos meus pais, irmãos e em particular a minha irmã Tercina, por ter permitido que o meu sonho de ingressar ao ensino superior se tornasse realidade e comprometeu-se a segurar-me durante o tempo de estadia mesmo com as adversidades que o país e o mundo colocam, o meu muito obrigado Mana Tê.

Aos meus supervisores, pelo suporte e contributos construtivos e inspiradoras com firmeza e espírito de liderança, o meu muito obrigado.

Por ser um trabalho colectivo, quero agradecer os meus colegas por me terem dado apoio, e me inspiraram a não desistir pois a vontade de primeira existia, obrigado a todos vocês.

A todos os docentes por me terem ensinado a ser e estar a pensar e trabalhar arduamente para alcançar o sucesso, o meu muito obrigado.

Declaração de Honra

Eu Dário Elias Munguno Zunguze, declaro sob minha honra que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau que seja, sendo que, constitui trabalho do esforço e dedicação individual. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de Licenciatura em Geologia Marinha, da Universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, 2025

(Dário Elias Munguno Zunguze)

Resumo

A Baía de Inhambane, representa uma importante feição geológica que alberga um ecossistema amplo e de grande valor económico. É altamente dinâmico, moldada por processos naturais (ondas, marés e precipitação) e por acções humanas, através da liberação excessiva de sedimentos que posteriormente acumulam-se e formam os bancos de areia. O presente estudo analisa as mudanças morfológicas dos bancos de areia na Baía de Inhambane entre o período compreendido de (1999 – 2024), região costeira moçambicana sujeita a intensos processos de erosão e deposição, e foi realizada utilizando técnicas de sensoriamento remoto em complementar aos sistemas de informação geográficas (SIG). Os resultados mostraram uma forte influência da precipitação na mobilidade sedimentar, com correlação positiva moderada de aproximadamente $R=0,6888$, pelo que, entende-se que os períodos de chuvas intensas favoreceram a formação e expansão dos bancos de areia.

Palavras-chaves: Bancos de areia, Dinâmica costeira, Aporte sedimentar

Lista de Abreviaturas

CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data.

DEM - Modelo Digital de Elevação.

DSAS - Digital Shoreline Analysis System.

EPR - End Point Rate (Taxa de Ponto Final).

INAHINA - Instituto Nacional De Hidrografia e Navegação.

LULC - Land Use and Land Cover (Uso e Cobertura do Solo).

MNDWI - Modified Normalized Difference Water Index.

NSM – Net Shoreline Moviment (Movimento Líquido da Lina de Costa)

SIG - Sistemas de Informação Geográfica.

USGS - United States Geological Survey.

m – Metro.

m/a – Metro por ano

mm – Milímetros.

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Formas de transporte de sedimentos. Adaptado de Bigarella, (1979).</i>	6
Figura 2: <i>Representação esquemática de bancos alternados (a) e de múltiplos canais e bancos (b) em um canal rectilíneo, Fonte: (Fernandes, 2010).</i>	8
Figura 3: <i>Hipótese da multiplicação de bancos de Areia. (Caston,1972 apud Dyer & Huntley,1999). Fonte: (Fernandes, 2010).</i>	9
Figura 4: <i>Refracção de ondas que se movem em direcção a uma Baía. Fonte (Bird, 2007).</i>	10
Figura 5: <i>Diagrama de dispersão para examinar a relação entre duas variáveis quantitativas. Fonte: (Moore & McCabe, 2003).</i>	13
Figura 6: <i>Localização Geográfica da Baía de Inhambane.</i>	15
Figura 7: <i>Morfologia e mobilidade dos bancos de areia da Baía de Inhambane: a) 1999; b) 2004; c) 2009; d) 2014; e)2019 e f)2024.</i>	22
Figura 8: <i>Oscilações da Lina de costa 1999-2024, a) 1999-2004; b) 2004-2009; c) 2009-2014; d) 2014-2019; e) 2019-2024; f) 1999-2024.</i>	26
Figura 9: <i>Gráfico da variação da linha de costa entre 1999-2024 (End Point Rate).</i> ...	27
Figura 10: <i>Gráfico da variação da linha de costa entre 1999-2024 (Net Shoreline Moviment).</i>	27
Figura 11: <i>Gráficos de dispersão e linhas de tendência da variação da linha de costa na Baía de Inhambane, de 1999-2024.</i>	29
Figura 12: <i>Gráfico da precipitação média anual, de 34 anos organizadas de 6 em 6.</i> .	30
Figura 13: <i>Gráfico de correlação entre precipitação e aporte sedimentar.</i>	31

Lista de Tabelas

Tabela 1: <i>Tabela de correlação Linear de Pearson. Adaptado de (Pearson,1994).</i>	14
Tabela 2: <i>Características das Imagens de satélite utilizadas neste estudo.</i>	16
Tabela 3: <i>Resumo dos dados do presente estudo.</i>	17
Tabela 4: <i>Médias da variação da linha de costa.</i>	40
Tabela 5: <i>Cálculo de médias de precipitação.</i>	40
Tabela 6: <i>Cálculo de correlação de pearson.</i>	40

Índice	
Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Declaração de Honra	iii
Resumo	iv
Lista de Abreviaturas	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vi
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Problematização	2
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Objectivos.....	3
1.4.1.Geral:	3
1.4.2.Específicos:.....	3
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.Baías	4
2.1.1. Classificação Geológica das Baías	4
2.2. Sedimentos	5
2.2.1. Erosão e Transporte de Sedimentos.....	5
2.2.2. Deposição sedimentar.....	6
2.3. Bancos de Areia.....	6
2.3.1. Caracterização dos Bancos de Areia	6
2.3.1.1. Caracterização dos bancos em canais de maré	7
2.3.2. Assoreamento de cursos de água	9
2.3.3. Influência das Marés, Correntes e Ondas no Transporte de Sedimentos	9
2.3.4. Influencia das descargas fluviais no transporte de sedimentos	10

2.4.	Geomorfologia Costeira	11
2.4.1.	Correntes litorâneas	11
2.5.	Precipitação	11
2.5.	Linha de Costa	12
2.5.1.	Estabilidade da Linha de Costa	12
2.5.2.	Morfologia da Linha de Costa	12
2.5.3.	Evolução e Modelação Costeira	12
2.6.	Correlação.....	13
2.6.1.	Correlação de Pearson	13
2.6.2.	Propriedades da Correlação de Pearson.....	14
CAPÍTULO III – METODOLOGIA.....		15
3.1.	Área de Estudo	15
3.2.	Materiais e Métodos	16
3.2.1.	Materiais	16
3.2.2.	Métodos	17
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		20
4.1.	Resultados.....	20
4.1.1.	Mapeamento da extensão espacial e deslocamento dos bancos de areia em diferentes períodos.....	20
4.1.2.	Quantificação da taxa de variação da linha de costa, incluindo erosão e acreção.....	22
4.1.3.	Análise da relação entre a precipitação (como indicador de aporte sedimentar) e a sua influência na morfologia dos bancos de areia.	29
4.1.	Discussão.....	31
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....		34
5.1.	Conclusões.....	34
5.2.	Recomendações.....	34
CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS E ANEXOS.....		35
6.1.	Referências Bibliográficas	35

6.2. Anexos.....	40
------------------	----

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1.Contextualização

As zonas costeiras constituem espaços de elevada dinâmica geomorfológica, sujeitos a alterações frequentes e significativas.

Estas mudanças resultam, em grande medida, da progressiva embora lenta subida do nível do mar, associada à acção energética de processos naturais, sobretudo o impacto das ondas. Estes agentes promovem a erosão das formações costeiras e o transporte contínuo de sedimentos, contribuindo para a reconfiguração permanente do litoral (Hoque *et al.*,2021).

A dinâmica sedimentar fluvial contribui de forma distinta para o transporte total de sedimentos, sendo que a carga de fundo representa apenas cerca de 5%. A maior parte dos sedimentos transportados corresponde à carga suspensa clástica, que pode atingir até 99% do total mobilizado (Kryniecka & Magnuszewski, 2021). Estes sedimentos, com a sua génese nos processos de desintegração e desgaste (pressão atmosférica e precipitação) dos protólitos ao interagirem com processos costeiros como as marés e a acção das ondas, dão origem à formação de bancos de areia assimétricos, que representam riscos significativos para a navegação devido à sua morfologia irregular (INAHINA, 2013).

A hidrodinâmica costeira (ondas, mares, correntes de deriva litorânea), desempenha um papel crucial na formação de bancos de areia e na infiltração da água através dos espaços entre os grãos de areia, especialmente nas áreas de navegação (INAHINA, 2013; Mechiço, 2018).

A monitorização dos bancos de areia é crucial para a compreensão dos padrões de sedimentação, a salvaguarda da segurança da navegação, a avaliação do estado ecológico dos sistemas costeiros e a gestão eficaz dos riscos associados à erosão litoral e à ocorrência de inundações (Okpobiri, *et al.*, 2025).

Em Moçambique com cerca de 2700km de cumprimento da linha de costa e na província de Inhambane com cerca de 700km, está localizada a Baía de Inhambane a nordeste da cidade homónima que apresenta um ambiente sedimentar dinâmico, marcado por bancos de areia móveis cuja evolução é influenciada pelos factores naturais e antrópicos. A acção combinada de factores naturais e antrópicos tem acentuado a instabilidade morfológica,

comprometendo a navegabilidade e actividades económicas locais como a pesca e o transporte marítimo (Lutjeharms, 2006; Campira *et al.*, 2021; Hogueane, 2007).

Perante a constante transformação dos bancos de areia na Baía de Inhambane, influenciada por múltiplos factores naturais e antrópicos, torna-se imprescindível aprofundar o conhecimento científico sobre a dinâmica morfológica litoral. A análise dos padrões, intensidades e ciclos de erosão, deposição e migração dos bancos de areia é de expressa relevância, uma vez que estas estruturas desempenham um papel crucial na estabilidade da linha de costa, na redistribuição sedimentar e nos processos hidrodinâmicos que moldam os ambientes costeiros, (Tong *et al.*, 2014).

Assim, o presente estudo tem como objectivo avaliar a dinâmica dos bancos de areia na Baía de Inhambane, com base na análise de séries temporais de imagens de satélite da missão Landsat como ferramentas indispensáveis para a monitorização de processos costeiros, permitindo a identificação das alterações morfológicas associadas a fenómenos como a erosão costeira, acreção sedimentar e a evolução da linha de costa.

1.2.Problematização

A Baía de Inhambane enfrenta alterações geomorfológicas significativas, impulsionadas por processos de assoreamento resultantes da deposição fluvial de sedimentos e processos de erosão pelas forças costeiras. A contínua expansão dos bancos de areia e a alteração da linha de costa têm implicações directas na navegabilidade reduzindo a profundidade do canal estuarino e nas actividades socioeconómicas locais. No entanto, existe uma escassez de estudos que integrem séries temporais de imagens de satélite associados a dados de elevação digital e dados ambientais, comprometendo assim a previsão e mitigação de impactos decorrentes das alterações morfológicas. Assim, o presente trabalho propõe, uma análise integrada de imagens satélite *Landsat* com dados de precipitação para compreender a dinâmica dos bancos de areia, respondendo a seguinte pergunta de pesquisa:

-Como evoluíram os bancos de areia na Baía de Inhambane entre 1999 - 2024 e de que forma estas mudanças se relacionam com os padrões de precipitação na Baía?

1.3.Justificativa

A Baía de Inhambane constitui um sistema costeiro de elevada importância geológica e socioeconómica, apresenta uma morfologia marcada por canais estuarinos, bancos de

areia móveis e extensas áreas de mangal, fortemente influenciados por processos de erosão, deposição e circulação de marés. As avaliações morfológicas costeiras através de sensoriamento remoto têm-se mostrado uma ferramenta eficaz na monitorização de zonas costeiras dinâmicas, particularmente em contextos tropicais e vulneráveis às alterações climáticas. Estudos como os de Campira *et al*, (2021) e Okpobiri *et al*, (2025) demonstram como a análise de dados espaciais pode revelar transformações significativas na linha de costa e nos bancos de areia, causadas tanto por variações na precipitação como por alterações no uso do solo e práticas antrópicas. Além disso, estudos de Cooper & Green, (2023) destacam a importância de contextualizar estas mudanças no âmbito de cenários de subida do nível do mar, especialmente em zonas de baías, como a Baía de Inhambane, onde a geomorfologia costeira é altamente dinâmica influenciada por processos como a erosão, sedimentação, ressurgência de actividades humanas e sujeita a variações significativas ao longo do tempo. O entendimento da dinâmica sedimentar desempenha um papel crucial na percepção das mudanças morfológicas das regiões costeiras e na dinâmica das feições formadas pelos mesmos.

1.4.Objectivos

1.4.1. Geral:

- Avaliar as mudanças morfodinâmicas nos bancos de areia da Baía de Inhambane, no período de 1999 - 2024, a partir de séries temporais de imagens de satélite Landsat.

1.4.2. Específicos:

- Mapear a extensão espacial e o deslocamento dos bancos de areia em diferentes períodos;
- Quantificar a taxa de variação da linha de costa, incluindo erosão e acreção;
- Analisar a relação entre a precipitação (como indicador de aporte sedimentar) e a sua influência na morfodinâmica dos bancos de areia.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Baías

Uma baía compreende um corpo hídrico parcialmente rodeado por terra, com entrada de água oceânica, que alberga ecossistemas diversos e elevada biodiversidade, e ao desenvolvimento de actividades económicas. É uma depressão costeira ou reentrância do litoral, geralmente formada por processos de erosão assimétrica, subsidência tectónica ou transgressão marinha (Ingrid, 2023; Oliveira, 2022).

Estas formações apresentam grande variação em dimensão, profundidade e dinâmica sedimentar, desempenhando um papel essencial na morfodinâmica costeira e na estrutura ecológica marinha. Para além de funcionarem como zonas de deposição e amortecimento hidrodinâmico, as baías constituem habitats estratégicos para a reprodução de espécies aquáticas e zonas de alimentação para aves migratórias, sendo também utilizadas como abrigos naturais para embarcações devido à sua protecção contra a acção directa das ondas e correntes oceânicas (Ingrid, 2023).

2.1.1. Classificação Geológica das Baías

As baías podem ser classificadas de acordo com a sua origem geológica em diferentes tipos, entre os quais se destacam:

- **Baías tectónicas** – formadas por subsidência de blocos da crosta, associadas a falhas ou ríftes costeiros.
- **Baías de ria** – resultantes da invasão marinha de antigos vales fluviais, comuns em costas com relevo acidentado.
- **Baías estuarinas** – desenvolvem-se na foz de rios, influenciadas por mistura de águas doces e salgadas, com forte dinâmica sedimentar.
- **Baías de barreira** – formadas por acção combinada de correntes litorais e acumulação de sedimentos arenosos ao longo de litorais baixos.

A Baía de Inhambane, enquadra-se morfologicamente como uma baía estuarina de baixa energia, associada à foz de pequenos cursos de água e à presença de sistemas lagunares e mangais. A sua formação está intimamente ligada à transgressão marinha do Holoceno e à acumulação sedimentar de origem fluvial e marinha, o que lhe confere um carácter altamente dinâmico (Campira *et al.*, 2021; Lutjeharms, 2006).

Actua como um depósito sedimentar semi-confinado, no qual a acção das correntes de maré, ondas e deriva litorânea condiciona a formação e migração de bancos de areia móveis, que afectam directamente a navegabilidade dos canais e a estrutura ecológica local, nomeadamente os habitats de mangal e as zonas de reprodução piscícola (Lutjeharms, 2006).

2.2.Sedimentos

Consideram-se sedimentos todas as partículas sólidas provenientes da desagregação de rochas ou de matéria orgânica, com capacidade para serem transportadas por fluidos naturais como a água ou o vento. Esses materiais, gerados por processos de intemperismo e erosão, deslocam-se desde áreas continentais até aos rios e estuários, sendo transportados em suspensão ou por arraste no leito, consoante a força das correntes (Guerra & Guerra, 2001; Medeiros *et al.*, 2008). Em ambientes estuarinos, a sua distribuição espacial é diferenciada, sendo que encontramos a areia nos canais marítimos, silte e argila em zonas pouco profundas ou urbanas, e lodo argiloso em depressões ou zonas de turvação influenciadas por intrusão salina.

2.2.1. Erosão e Transporte de Sedimentos

A erosão consiste na remoção e deslocação de materiais do solo ou de rochas por acção de agentes naturais ou humanos. Quando ocorre de forma natural, é geralmente lenta e compatível com a taxa de formação do solo, sendo designada por erosão geológica. Já a erosão acelerada resulta de interferência antrópica, como desflorestação ou ocupação desordenada, levando a perdas rápidas e intensas de solo. Entre os principais tipos de erosão destacam-se, a pluvial, fluvial, marinha, eólica e glacial.

O transporte sedimentar é o processo através do qual os sedimentos são mobilizados por agentes como a água ou o vento. Durante o trajecto, as partículas sofrem abrasão e são organizadas segundo o seu tamanho, forma e densidade. Classificam-se em carga de leito, onde as partículas rolam sobre o fundo com movimentos intermitentes e carga em suspensão, mantida pela turbulência da água acima do leito.

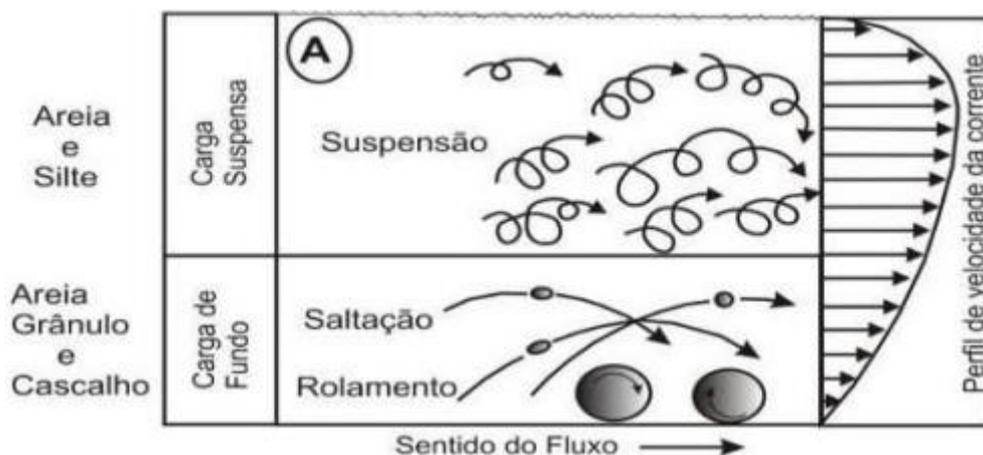


Figura 1: *Formas de transporte de sedimentos. Adaptado de Bigarella, (1979).*

2.2.2. Deposição sedimentar

A deposição sedimentar ocorre quando a energia do agente transportador como a água dos rios diminui, nomeadamente ao entrar em zonas estuarinas. Com a perda de velocidade das correntes, a força da gravidade sobrepõe-se, e os sedimentos transportados começam a depositar-se (Anfonso, 2006). Os sedimentos mais grosseiros, como seixos e cascalho, são os primeiros a assentar, enquanto os mais finos, como a argila, permanecem mais tempo em suspensão. Segundo (Baccaro, 1999), A natureza dos depósitos depende do meio transportador, seja água, vento ou gelo.

2.3. Bancos de Areia

Os bancos de areia são formações arenosas costeiras que se destacam por constituírem elevações no leito marinho, delimitadas por contornos batimétricos fechados. Estas estruturas ocorrem em ambientes como estuários, embocaduras de maré e ao longo da plataforma continental, em locais com abundância de sedimentos arenosos e hidrodinâmica activa capaz de os mobilizar (Fernandes, 2010).

2.3.1. Caracterização dos Bancos de Areia

Os bancos de areia, na sua formação caracterizam-se pelo agrupamento em conjuntos e distribuem-se a várias profundidades (Fernandes, 2010). Belderson *et al.*, (1982), afirma que, quando ocorrem de forma isolada, situam-se frequentemente próximos da costa ou abrigados por ilhas, promontórios ou formações rochosas submersas, desempenhando um papel importante na morfodinâmica costeira. Actuam como fontes potenciais de agregados marinhos, servem como barreiras naturais contra a erosão costeira,

contribuindo para a protecção do litoral, mas também podem representar obstáculos à navegação, especialmente em zonas estuarinas e rasas (Fernandes, 2010).

Os bancos de areia influenciam o regime hidrodinâmico local, modificando as correntes residuais de maré à medida que se desenvolvem. A sua morfologia resulta da interacção entre correntes de maré, batimetria e transporte sedimentar. Para sistematizar estas feições, destaca-se a classificação de Dyer & Huntley (1999), amplamente aceite, que categoriza os bancos segundo a origem e evolução morfológica. A tipologia proposta inclui três categorias principais:

- **Bancos de origem residual**, formados pelas correntes residuais de maré que transportam sedimentos ao longo do estuário;
- **Bancos de origem frontal**, que se desenvolvem em zonas de convergência hidrodinâmica onde há acumulação local de sedimentos; e
- **Bancos laterais**, associados a zonas de recirculação ou fluxos secundários adjacentes aos canais principais.

Cada tipo principal pode apresentar subtipos morfológicos específicos, definidos pela intensidade das correntes, a geometria do canal e a disponibilidade sedimentar, permitindo descrever uma ampla variedade de bancos coexistentes num mesmo sistema estuarino (Fernandes, 2010).

2.3.1.1. Caracterização dos bancos em canais de maré

A morfologia dos bancos de areia em canais de maré é influenciada por variáveis como a profundidade, a velocidade das correntes e o tamanho dos sedimentos. Estudos empíricos, como o de Coeveld (2002), indicam que o comprimento de onda dos bancos pode atingir até seis vezes a largura do canal. Segundo Dronkers (2004), os bancos podem ser classificados em alternados, múltiplos e lineares, consoante a relação entre a largura e a profundidade do canal (Fernandes, 2010).

Os bancos alternados ocorrem geralmente em canais sinuosos com largura relativa (***razão entre a largura e a profundidade do canal***) superior a 10 e assemelham-se às barras de meandro fluviais, embora com menor taxa de migração. Quando essa razão ultrapassa 100, formam-se sistemas complexos com múltiplos canais e bancos. Em zonas mais internas, os bancos surgem nas curvas internas dos meandros, enquanto próximo da foz, onde os canais são mais largos e rectilíneos, formam-se bancos lineares que separam os

fluxos de enchente e vazante. Esta transição morfológica ocorre de forma gradual ao longo do canal (Fernandes, 2010).

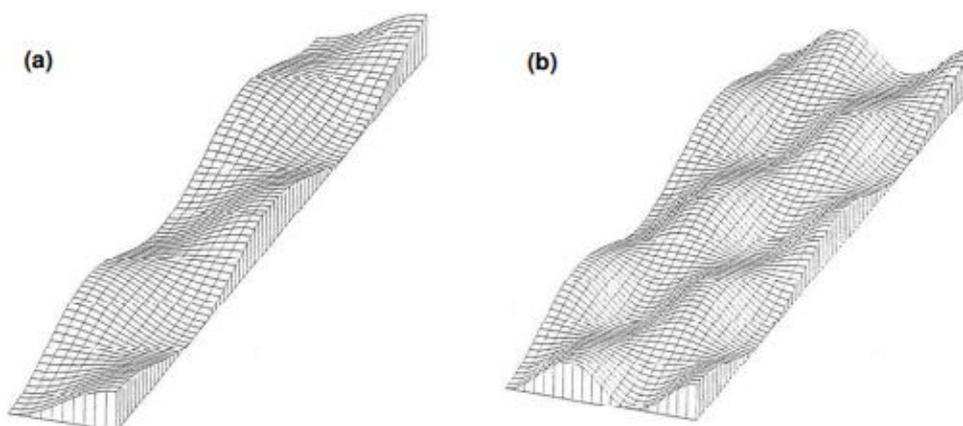


Figura 2: Representação esquemática de bancos alternados (a) e de múltiplos canais e bancos (b) em um canal retilíneo, Fonte: (Fernandes, 2010).

Quando a largura de um canal ultrapassa os 7-10 km, as barras sedimentares destacam-se das margens, podendo desenvolver cristas sinuosas em forma de "U" ou "S". Estas formas estão frequentemente associadas a sistemas dominados por correntes de enchente ou vazante, que, em certos casos, dividem um banco linear inicial em três bancos adjacentes devido ao transporte desigual de sedimentos ao longo das suas margens. Em áreas não confinadas, como plataformas, estes bancos podem surgir isoladamente, apresentando cristas rectilíneas ou ligeiramente curvas. Têm tipicamente uma extremidade larga e arredondada (a montante) e outra mais estreita (a jusante), reflectindo a direcção do transporte sedimentar (Fernandes, 2010).

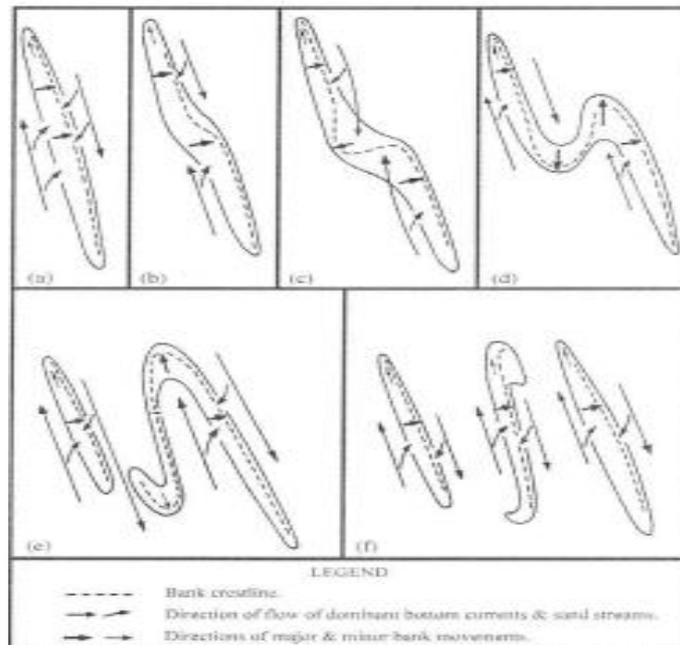


Figura 3: Hipótese da multiplicação de bancos de Areia. (Caston, 1972 apud Dyer & Huntley, 1999). Fonte: (Fernandes, 2010).

2.3.2. Assoreamento de cursos de água

O assoreamento consiste no entupimento de cursos de água como rios, estuários ou canais devido ao acúmulo de sedimentos, areia ou outros detritos. Este fenómeno pode reduzir a velocidade das correntes e ocorrer por causas naturais como a acção de rios, ventos ou correntes costeiras, ou humanas (obras como barragens ou pontes) (Filho *et al.*, 1981).

É um factor que contribui para o desaparecimento de rios, pois diminui a profundidade e intensifica a erosão. A água, o vento, processos químicos e actividades humanas desagregam solos e rochas, gerando sedimentos que, ao se depositarem, provocam o assoreamento.

2.3.3. Influência das Marés, Correntes e Ondas no Transporte de Sedimentos

➤ Marés

A propagação da maré é um dos principais mecanismos de circulação em estuários, influenciando a renovação e mistura das águas, além da distribuição de sedimentos, sais e nutrientes (Perillo, 1995). As variações do nível da água resultam da atracção gravitacional da Lua e do Sol, combinada com a rotação da Terra e a morfologia da plataforma continental. Essas oscilações periódicas (subidas e descidas) afectam a

hidrodinâmica estuarina, promovendo o transporte e deposição de sedimentos, (Fernandes, 2010).

➤ Correntes

Diferentemente das marés (movimentos verticais), as correntes são deslocamentos horizontais de massas de água que podem ser benéficas ou prejudiciais aos ecossistemas (Day et al., 1989). Em intensidades moderadas, transportam nutrientes e sedimentos, sustentando habitats como prados marinhos. Já correntes fortes causam erosão nas margens e mobilizam sedimentos, alterando a dinâmica estuarina (Fernandes, 2010).

➤ Ondas

Geradas pelo vento, as ondas transportam energia cinética e podem provocar erosão costeira, carregando sedimentos para os estuários (Schmitz, 1983). Quando invadem esses ambientes, causam ressuspensão de partículas e erosão das margens, redistribuindo sedimentos através das correntes, (Fernandes, 2010).

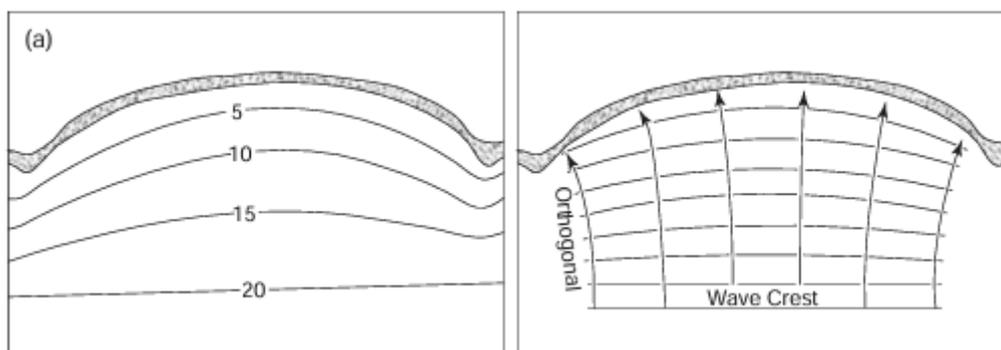


Figura 4: Refracção de ondas que se movem em direcção a uma Baía. Fonte (Bird, 2007).

2.3.4. Influencia das descargas fluviais no transporte de sedimentos

As descargas fluviais constituem um factor determinante para os processos físicos, geoquímicos e sedimentares que ocorrem em ambientes semi-confinados. A variação do fluxo de água doce influencia directamente a circulação hidrodinâmica, a estratificação salina, e o transporte de sedimentos, nutrientes e poluentes, além de condicionar a distribuição espacial das comunidades biológicas, (Fernandes, 2010).

A dinâmica fluvial nas baías pode provocar alterações morfológicas significativas ao longo do tempo, como demonstrado por Bruun (1966), principalmente através da deposição de sedimentos fluviais e modificação dos gradientes batimétricos. O aporte

constante de sedimentos mantém os gradientes horizontais e verticais de salinidade, promovendo uma circulação estuarina típica que dispersa materiais em suspensão. Durante eventos de cheia, esses efeitos podem estender-se para além da baía, atingindo o ambiente marinho costeiro adjacente. A estratificação da coluna de água favorece o transporte superficial de substâncias dissolvidas e a inversão do escoamento nas camadas profundas, conduzindo sal e poluentes para montante (Duarte, *et al.*, 2001).

2.4. Geomorfologia Costeira

A geomorfologia costeira estuda as formas e processos das zonas litorais resultantes da interacção entre a dinâmica marinha e a litosfera. Integra conhecimentos da geologia marinha, hidrodinâmica e sedimentologia, abordando fenómenos como a erosão, transporte sedimentar e variações do nível do mar. Inicialmente descritiva, esta disciplina evoluiu para uma abordagem integrada e aplicada, considerando também influências eustáticas e eventos pós-glaciais, como a formação de rias e fiordes associados à transgressão marinha do Holoceno, (Davidson-Arnott, 2010; Bird, 2007).

2.4.1. Correntes litorâneas

As correntes de deriva litorânea são responsáveis por orientar o transporte dos sedimentos ao longo da linha de costa, influenciando directamente a formação e evolução de trechos costeiros que dependem desse fluxo. Estas correntes têm origem na acção das ondas ao rebentar na zona de surfe, gerando movimentos tanto paralelos à costa como perpendiculares, através de correntes de retorno e de ressaca (Paskoff, 1985; Guerra, 2014). Esses fluxos condicionam a dinâmica sedimentar e desempenham um papel fundamental nos processos de erosão, acumulação e redistribuição dos materiais costeiros.

2.5. Precipitação

Entende-se por precipitação, toda a água meteórica que, provindo do vapor de água da atmosfera, que sob forma líquida ou sólida, cai da atmosfera para a superfície terrestre. A precipitação é a principal fonte de água do ciclo hidrológico (Tucci, 2003), resultante da condensação do vapor de água na atmosfera que, ao formar gotículas suficientemente grandes, cai sob acção da gravidade (Chow *et al.*, 1988). É também uma variável climática fundamental que interfere em processos ambientais como erosão, infiltração e escoamento, (Rodrigues, 2012).

2.5.Linha de Costa

A linha de costa é uma feição dinâmica usada para analisar a evolução dos sistemas praias. A sua definição varia consoante o tipo de costa e os critérios adaptados, especialmente em ambientes de macro marés, onde se utiliza frequentemente a linha entre areia seca e húmida, associada à maré mais alta. Em zonas micro-marés, é comum considerar a linha entre a terra e a água, (Pardo-Pascual *et al.*, 2018; Bird, 2007).

2.5.1. Estabilidade da Linha de Costa

O desequilíbrio no balanço sedimentar costeiro pode provocar alterações significativas na linha de costa, frequentemente causadas por infra-estruturas que retêm sedimentos, pela escassez de fontes sedimentares e pela resposta morfológica à subida do nível do mar. Estes factores conduzem à redução do aporte sedimentar e intensificam a erosão (Machado, 2010).

Segundo Muehe (2004), em áreas com cordões litorâneos estreitos, a elevação do mar alaga e aprofunda lagunas. Já em cordões mais largos, a erosão inicia-se na frente oceânica, ocorrendo migração apenas quando as ondas ultrapassam a barreira. Em plataformas continentais pouco inclinadas, o recuo costeiro pode ser muito extenso, (Machado, 2010).

2.5.2. Morfologia da Linha de Costa

A morfologia da linha de costa apresenta grande variabilidade, raramente exibindo um traçado rectilíneo. Factores geológicos, como falhas e a litologia das rochas, exercem um controlo significativo (Bird, 2007).

2.5.3. Evolução e Modelação Costeira

A evolução das formas costeiras resulta da interacção complexa entre factores geológicos, climáticos e oceanográficos. A geologia determina a resistência e disposição das formações rochosas na linha de costa, enquanto os movimentos tectónicos, como falhas e subsidência, alteram a morfologia litoral (Bird, 2007). Embora as transformações possam ocorrer em escalas milenares, eventos extremos, como tempestades, provocam alterações súbitas na configuração costeira e no transporte sedimentar (Pilkey & Cooper, 2014; Nicholls & Cazenave, 2010).

O clima influencia os regimes de vento e ondulação, afectando directamente a erosão e sedimentação. A meteorização varia consoante o ambiente tropical, árido ou polar, e

contribui para a fragmentação dos afloramentos rochosos. A vegetação e a fauna costeira moldam ecossistemas como sapais, mangais, recifes e dunas estabilizadas, enquanto organismos marinhos causam bio-erosão das superfícies rochosas. Finalmente, a acção das marés e correntes, modulada por factores como temperatura e salinidade, afecta significativamente a dinâmica sedimentar do litoral, (Bird, 2007; Davidson-Arnott, 2010).

2.6. Correlação

Segundo Jupp (2006), correlação refere-se à relação linear entre variáveis. O coeficiente de correlação é uma medida da associação entre duas variáveis numéricas, geralmente representadas como x e y (Jupp, 2006). Por sua vez, Moore e McCabe (2003) destacam, que a correlação avalia a direcção e a intensidade da relação linear entre duas variáveis quantitativas. Normalmente, a correlação é expressa pela letra r (Moore & McCabe, 2003).

De acordo com a relação entre as variáveis x e y , esta correlação pode ser:

- **Directa ou Positiva** – quando a variável dependente está directamente relacionada com a variável independente.
- **Indirecta ou Negativa** – quando a variável dependente tem relação inversamente proporcionalmente com a variável independente.
- **Nula** – quando não há inter-relação entre as variáveis.

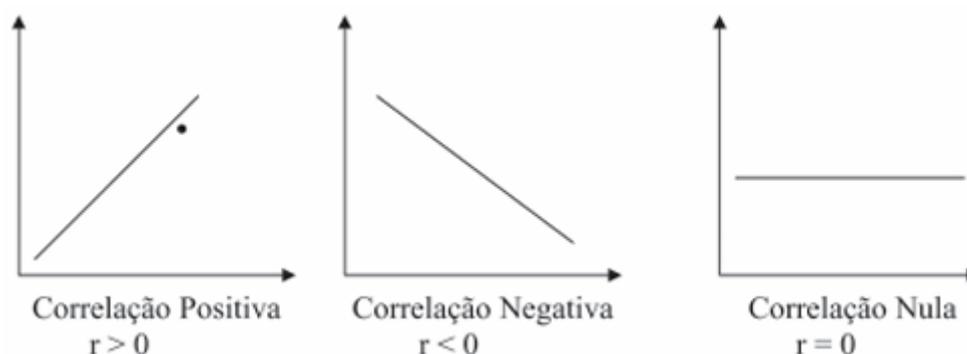


Figura 5: Diagrama de dispersão para examinar a relação entre duas variáveis quantitativas. Fonte: (Moore & McCabe, 2003).

2.6.1. Correlação de Pearson

O Coeficiente de correlação de Pearson, representado por r , é uma medida da direcção e grau com que duas variáveis, de tipo quantitativo, se associam linearmente, (Martins, 2014).

2.6.2. Propriedades da Correlação de Pearson

- O coeficiente de correlação assume valores entre -1 e 1;
- Quanto maior for o valor de r , em módulo, maior será o grau de associação linear entre as variáveis;
- Um valor de r positivo indica uma associação linear positiva entre as duas variáveis, isto é, quando os valores de uma das variáveis aumentam, existe tendência para que os valores da outra variável também aumentem. Um valor de r negativo indica uma associação linear negativa entre as duas variáveis, isto é, quando os valores de uma das variáveis aumentam, existe tendência para que os valores da outra variável diminuam;
- O coeficiente de correlação não é uma medida resistente, isto é, pode ser influenciado pela existência nos dados de alguns valores estranhos ou outliers, ou seja, valores muito maiores ou menores que os restantes, pelo que deve ser interpretado com o devido cuidado.

Quanto mais perto de 1 mais forte é o nível de associação linear entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação. Em particular, uma correlação de valor zero significa que as variáveis são ortogonais entre si (ausência de correlação). Uma correlação positiva indica que quando x aumenta, y também aumenta, ou seja, valores altos de x estão associados a valores altos de y , (Filho, et al., 2014).

Tabela 1: Tabela de correlação Linear de Pearson. Adaptado de (Pearson, 1994).

Correlação (r)	Interpretação
$r=1$	Correlação linear positiva perfeita
$0.8 \leq r < 1$	Correlação linear positiva forte
$0.4 \leq r < 0.8$	Correlação linear positiva moderada
$0.8 < r < 0.4$	Correlação linear positiva fraca
$r=0$	Sem correlação
$-0.4 \leq r < 0$	Correlação linear negativa fraca
$0.8 \leq r < -0.4$	Correlação linear negativa moderada
$-1 < r < -0.8$	Correlação linear negativa forte
$r=-1$	Correlação linear negativa perfeita

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

A Baía de Inhambane (figura 6) localiza-se na costa sudoeste de Moçambique entre as, é limitada a Este pelo oceano Indico, a Oeste pelo Município de Inhambane, a Sul pelo Distrito de Jangamo e a Norte pela Ponta da Barra. A sua geomorfologia costeira é diversificada, incluindo praias, e recifes, formados por processos geológicos complexos que envolvem principalmente rochas sedimentares, como solos arenosos, e em menor escala, rochas graníticas (INAHINA,2013; Mechiço, 2018).

O clima da Baía é tropical húmido, na faixa costeira, e tropical seco, no interior, caracterizado por duas épocas do ano: uma fresca e seca, que vai de Abril a Setembro, com temperaturas entre 22°C e 26°C, e um quente e chuvosa de Outubro a Março, com médias de 34°C e humidade relativa que varia de 6% a 76%, e precipitações médias anuais de cerca de 800 a 1000mm (INAHINA,2013; Mechiço, 2018).

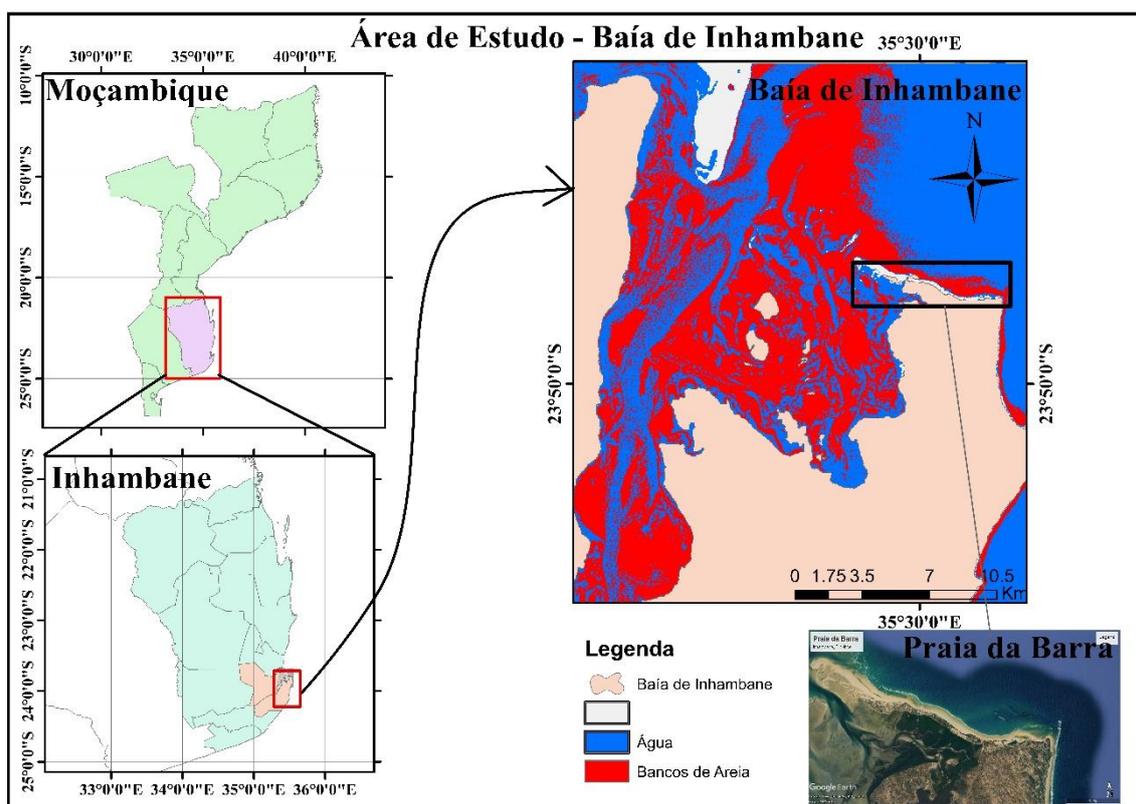


Figura 6: Localização Geográfica da Baía de Inhambane.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Materiais

Para a realização e alcance dos objectivos do presente estudo utilizaram-se dados históricos de satélites Landsat e dados de precipitação em formato TIF, que são descritos a seguir:

a) Dados de Satélite

O levantamento dos dados de satélites Landsat, foi efectuado na plataforma USGS a partir do EarthExplorer. Esta escolha proporcionou um registo histórico abrangente para monitorizar as alterações na área em estudo. Foram especificamente seleccionados dados provenientes de diversas missões Landsat (Landsat 5, 7 e 8), no período de 1999 a 2024, com um intervalo de 5 anos, de modo a garantir uma cobertura consistente da região e uma elevada resolução espacial de 30 metros, obtidos através da plataforma do USGS EarthExplorer disponíveis no site: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. As imagens de satélites, foram processados no programa de ArcGIS versão 10.8, onde fez-se a análise das mudanças morfológicas, da área em estudo. A Tabela 1 apresenta a lista das imagens de satélite utilizadas, a data de aquisição, a resolução espacial, altura das marés, e a cobertura de nuvens, correspondentes à área de estudo.

Tabela 2: *Características das Imagens de satélite utilizadas neste estudo.*

Satélite	Data (Ano/Mês/Dia)	Resolução (m)	Marés de quadratura(m) (Baixa-mar)	Cobertura de Nuvens (%)
LT05_L1TP	1999/08/07	30m	-0.005625467	2%
LT05_L1TP	2004/06/17	30m	-0.930687328	5 %
LE07_L1TP	2009/04/20	30m	-0.27882895	2 %
LE07_L1TP	2014/08/24	30m	-1.041270635	1%
LC08_L1TP	2019/01/02	30m	-0.597395382	16.58 %
LC08_L1TP	2024/10/14	30m	-0.698812798	5.86 %

b) Dados de Precipitação

Os dados de precipitação compreendidos entre 1994 a 2024, processados foram integrados na análise. Estes dados foram obtidos através do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (**CHIRPS/v3**), que corresponde a um conjunto

de dados quase global de precipitação, com mais de 40 anos de registos (desde 1981), que combina imagens de satélite em formato GeoTif e dados de estações meteorológicas, fornecendo séries temporais em grelha de 0,05° sobre áreas continentais entre 60°N e 60°S, disponíveis em <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS/v3.0/>, (CHIRPS3, 2025).

Esses dados foram extraídos a partir do software ArcGIS na sua versão 10.8, efectuando-se concretamente a filtragem de dados dentro da área e série temporal em análise. Para além disso, fez-se a exportação desses dados para o programa Microsoft Excel para as análises estatísticas.

Tabela 3: *Resumo dos dados do presente estudo.*

Parâmetros	Plataforma	Versão	Resolução	
			Temporal	Espacial
Dados de Satélites	USGS	-----	15 Dias	30m
Dados de Precipitação	CHIRPS	3	2 Dias	0,05°

3.2.2. Métodos

Em relação às análises espaciais e estatísticas, com excepção das etapas de filtração dos dados, todas as análises descritas a seguir foram realizadas no programa ArcGIS versão 10.8 e Excel. O Modelo de Elevação digital foi aplicado no recorte e extração da área de interesse e dos dados pontuais de precipitação.

I. Mapeamento da extensão espacial e deslocamento dos bancos de areia em diferentes períodos.

Para mapear as feições geomorfológicas e a mobilidade dos bancos de areia, recorreu-se a classificação supervisionada das imagens aplicando o algoritmo **Maximum Likelihood**, para identificar feições costeiras como bancos de areia. Para treinar o classificador, foram definidos conjuntos de amostras representativas de cinco (5) classes como água, bancos de areia submersos, vegetação, bancos de areia expostos e zonas de agricultura e habitação, (Okpobiri *et al.*, 2025; Charrua *et al.*, 2021).

II. Quantificação da taxa de variação da linha de costa, incluindo erosão e acreção.

Para a quantificação da taxa da variação da linha de costa, fez-se o cálculo do índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), para separar água da terra e fazer a extração da linha de costa, tendo sido usada a linha da costa da praia de barra para as análises. O cálculo do MNDWI foi feito com base em Xu (2006), utilizando as bandas (verde e Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR1)) dos sensores Landsat, usando a seguinte equação:

$$MNDWI = \frac{(Green - Swir1)}{(Green + Swir1)} \quad \text{Equação 1.}$$

A análise centrou-se na aplicação do modelo Digital Shoreline Analysis System (DSAS), no qual foram calculadas as taxas de variação da linha de costa usando as distâncias entre a linha de base de referência e cada intersecção da linha de costa ao longo de um transecto analisando o avanço ou recuo da linha de costa ao longo do tempo. O software fez cálculos estatísticos de EPR (**End Point Rate**) e NSM (**Net Shoreline Movement**) mostrando os valores de acreção (+) e erosão (-) e possibilitando o cálculo das médias em metros, comparando a linha mais antiga com a mais recente, permitindo interpretar a tendência da dinâmica da linha de costa na Baía (Bishop-Taylor *et al.*, 2021; Himmelstoss *et al.*, 2018)).

III. Analisar a relação entre a precipitação (como indicador de aporte sedimentar) e sua influência na morfodinâmica dos bancos de areia.

Para atender a este objectivo, foram extraídos os valores de precipitação de 34 anos, agrupados em médias de 6 em 6 anos, desde 1990-2024. Em seguida, calculou-se a correlação de Pearson para quantificar a relação linear existente entre as duas variáveis, isto é, a precipitação e o suprimento de sedimentos. Para o cálculo da correlação considerou-se 6 observações (N=6) após o agrupamento, correspondentes ao número de imagens processadas desta área. A correlação Pearson apresenta valores variando de -1 a 1. Quanto mais perto de 1 mais forte é o nível de associação linear entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação. Em particular, uma correlação de valor zero significa que as variáveis são ortogonais entre si, ou seja, há ausência de correlação, (Martins, 2014). O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado usando a seguinte fórmula proposta por, (Pearson, 1895).

$$r = \frac{Cov(x, y)}{sd(x) * sd(y)}$$

Equação 2.

Onde:

- r = Coeficiente de correlação de Pearson
- $(Cov(x, y))$ = Covariância entre as variáveis x e y
- $(sd(x), sd(y))$ = Desvios-padrão de x e y

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

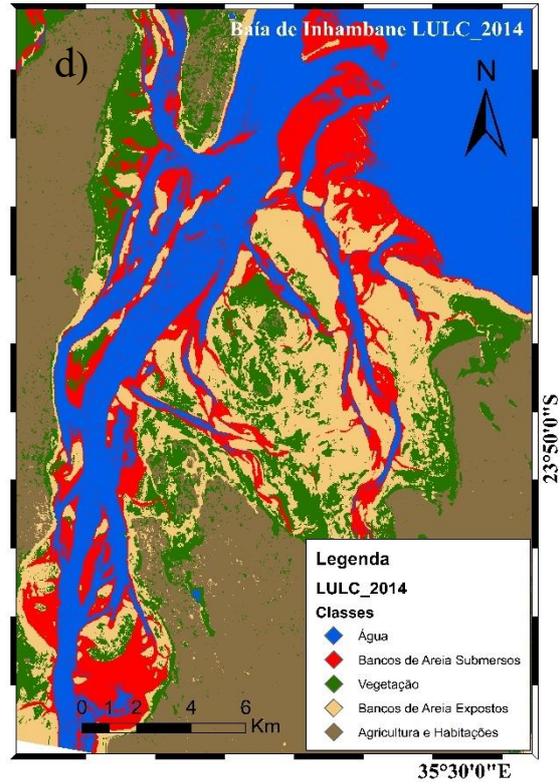
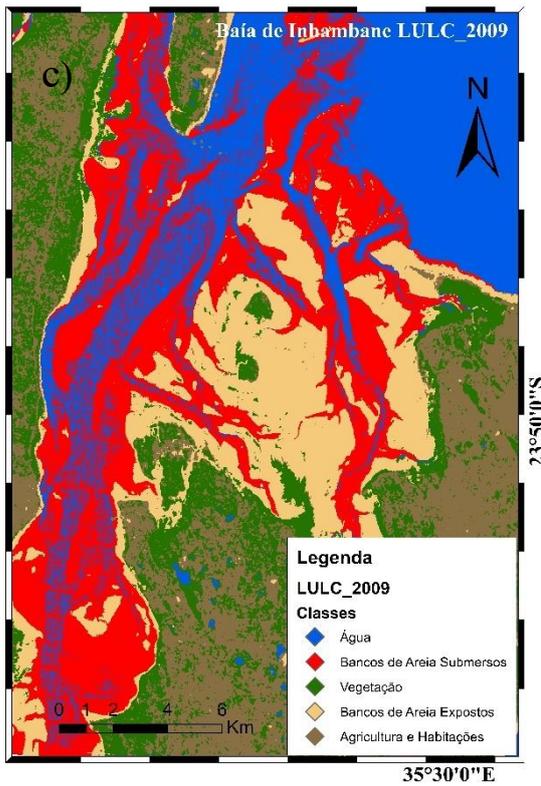
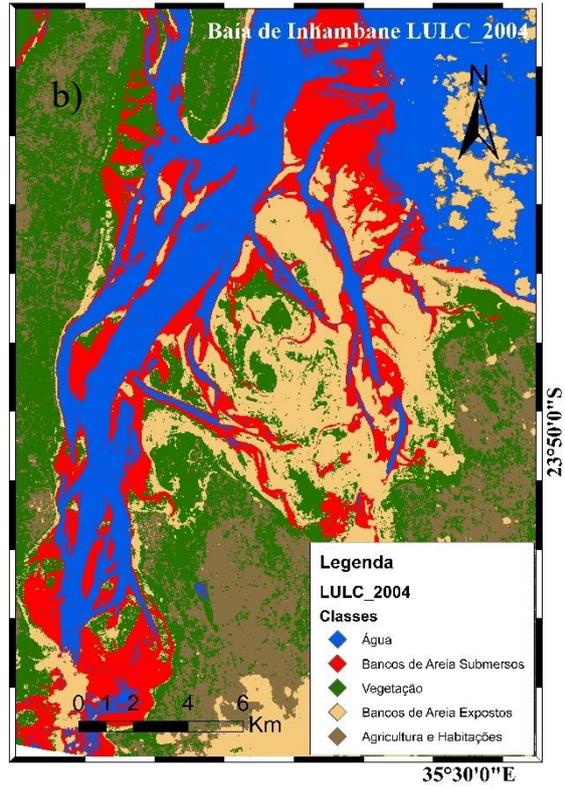
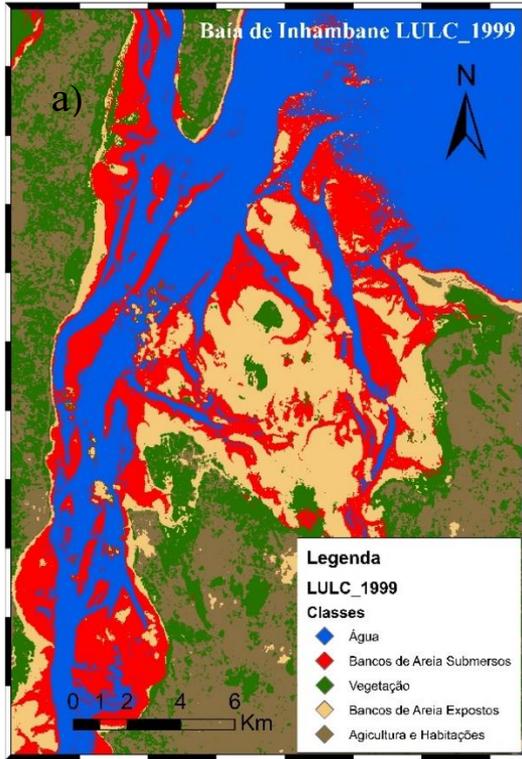
4.1. Resultados

4.1.1. Mapeamento da extensão espacial e deslocamento dos bancos de areia em diferentes períodos.

A Figura 7 apresenta as extensões espaciais e deslocamentos dos bancos de areia, mapeados entre 1999 e 2024. Nesse período, ocorreram mudanças significativas na morfologia e distribuição dessas formações.

Verifica-se que os bancos de areia submersos mantiveram uma persistência morfológica, permanecendo relativamente estáveis ao longo dos anos. Em contrapartida, os bancos de areia expostos evidenciaram alterações cíclicas e oscilatórias, reflectindo uma dinâmica sedimentar mais activa. Em 1999, Figura 7(a), predominavam bancos de areia submersos ao longo do canal fluvial até à entrada da baía, com extensões reduzidas. Cinco anos mais tarde, Figura 7 (b), observou-se a emergência de bancos de areia expostos com cobertura vegetal. Posteriormente, registou-se uma regressão dos bancos expostos, voltando a uma condição predominantemente submersa, Figura 7 (c), ainda que com um elevado nível de assoreamento no canal fluvial. Este fenómeno poderá estar relacionado com o aumento das actividades antrópicas na região, especialmente nas zonas marginais do canal. Na sequência, observa-se um novo surgimento de bancos expostos com vegetação, Figura 7 (d), acompanhado de um aumento da extensão dos bancos submersos.

Em 2019, Figura 7 (e), ocorre uma redução significativa dos bancos expostos embora não de forma total e ausência de vegetação, indicando uma tendência de estabilização morfológica. Esta estabilidade é confirmada pelas observações de 2024, Figura 7 (f), que revelam uma evolução lenta dos bancos submersos e uma progradação gradual dos bancos expostos.



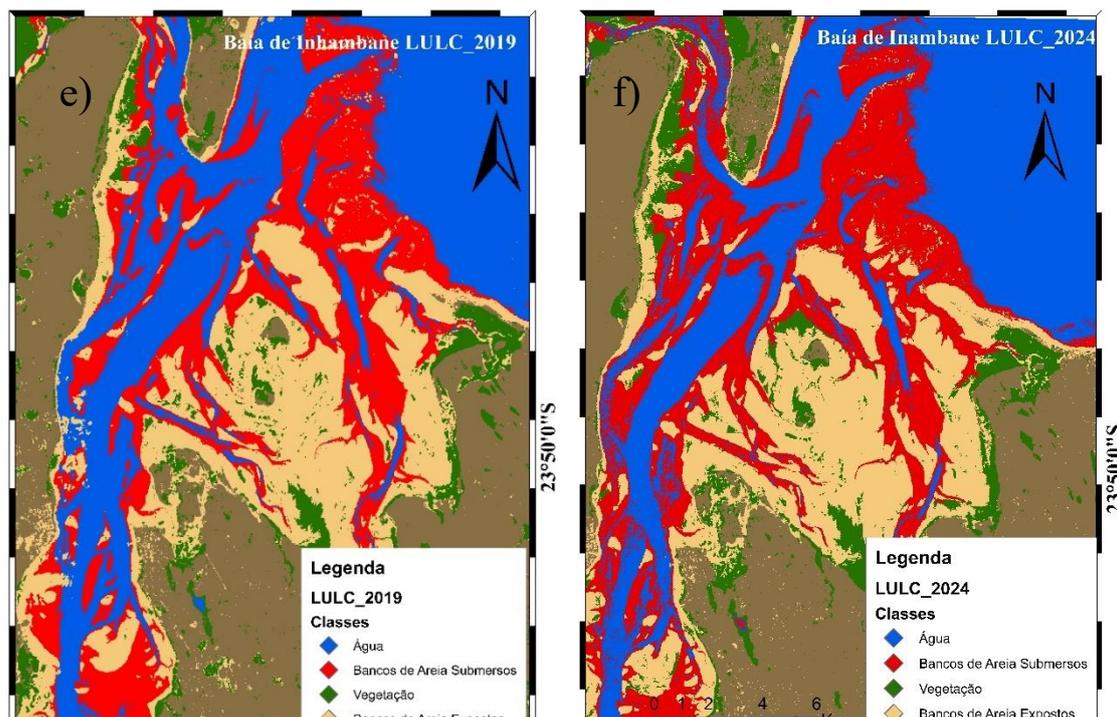


Figura 7: Morfologia e mobilidade dos bancos de areia da Baía de Inhambane: a) 1999; b) 2004; c) 2009; d) 2014; e) 2019 e f) 2024.

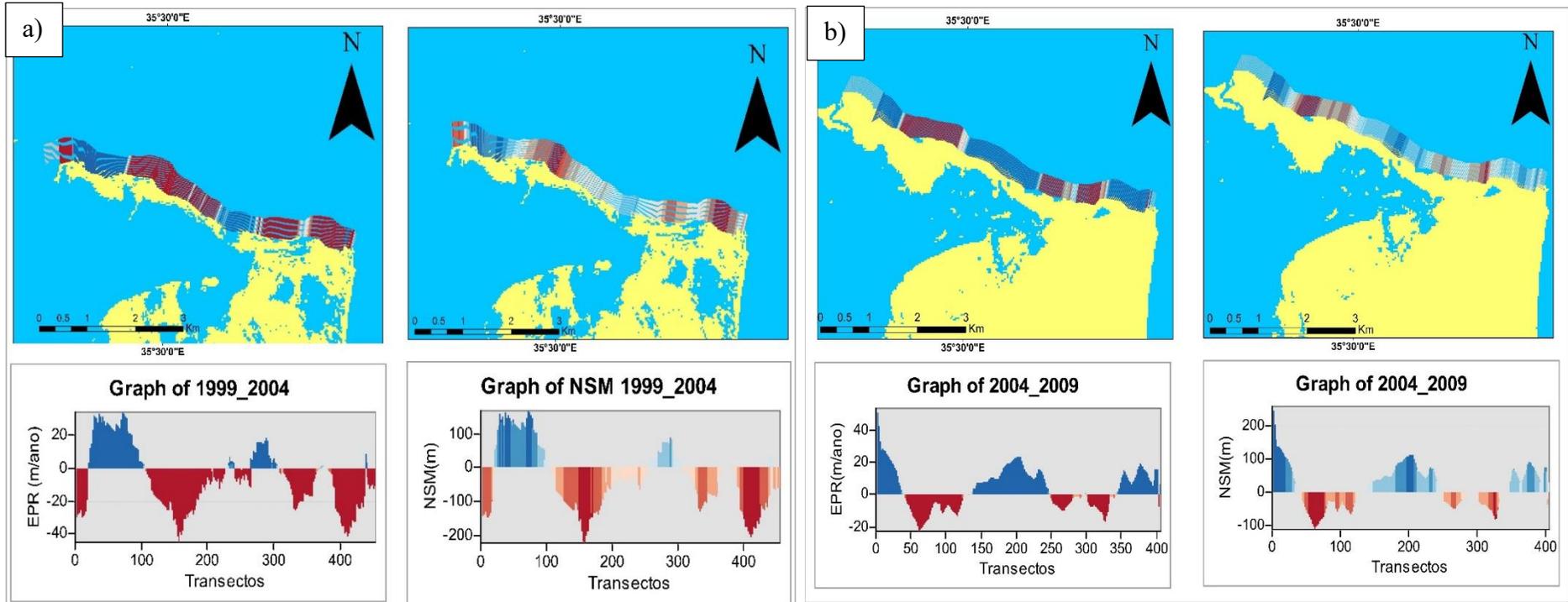
4.1.2. Quantificação da taxa de variação da linha de costa, incluindo erosão e acreção.

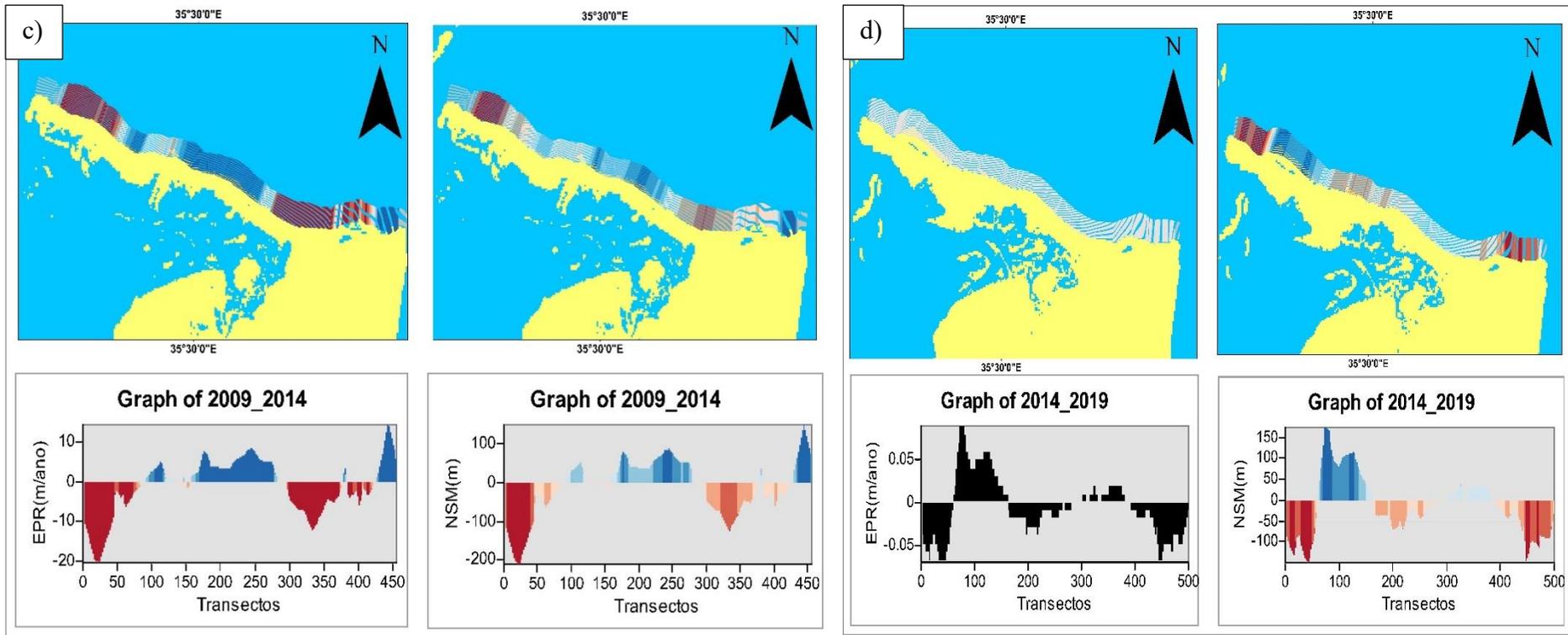
A Figura 8 ilustra as oscilações da linha de costa, bem como os níveis de erosão e acreção ocorridos entre os anos de 1999 até 2024. Verifica-se que as oscilações mais acentuadas da linha de costa ocorreram no período compreendido entre 2019 – 2024 figura 8(e), com uma variação média de avanço de aproximadamente 400 metros e cerca de 80m/a da taxa de acreção. Por outro lado, as oscilações mínimas foram registadas entre 1999 – 2004 figura 8(a), com recuos da linha de costa de aproximadamente 200 metros e avanços de cerca de 100m e uma taxa de erosão de cerca de -40m/a.

O período entre 2004-2009 figura 8(b) registou de um avanço da linha de costa e cerca de 200m e recuos de até 100m, significando um recuo de cerca de 100m e uma taxa de erosão de cerca de -20m/a e acreção de cerca de 40m/a. No período de 2009-2014 figura 8(c), coloca-se em ênfase a erosão que obteve uma taxa de erosão superior à taxa de acreção que é de cerca de -20m/a e -200m erodidos, um recuo significativo de cerca de +100m da linha de costa anterior. Nas mesmas observações, no período entre 2014-2019 figura 8(d) verifica-se uma acreção de cerca de 150m a uma taxa de cerca de 1m/a, embora a erosão tenha superado a acreção neste período. Por fim, durante o período total

analisado (1999-2024) figura 8(f) pode se observar que a taxa de erosão supera a taxa de acreção tendo sido de cerca de -40m/a e -200m do total erodido, uma variação de cerca de -100m da linha de costa inicial.

Os maiores picos de acreção são verificados na entrada da baía, o que vem sustentar ainda mais a progradação longitudinal sedimentar.





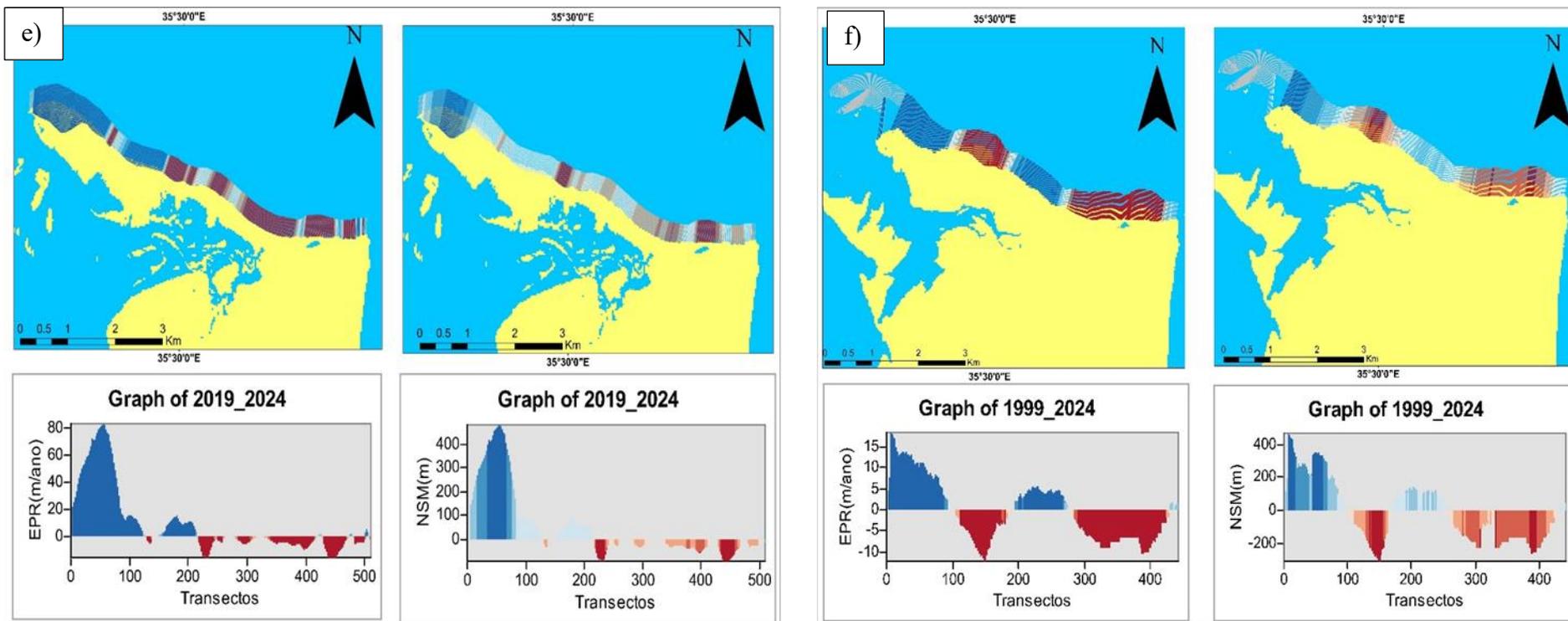


Figura 8: Oscilações da Lina de costa (vermelho – erosão; azul- acreção) de 1999-2024, a) 1999-2004; b) 2004-2009; c) 2009-2014; d) 2014-2019; e) 2019-2024; f) 1999-2024.

A Figura 9 e apresenta as médias dos processos de erosão e acreção da linha de costa (EPR) ao longo do período compreendido entre 1999 e 2024, permitindo visualizar, de forma clara, os padrões de avanço e recuo da linha costeira, dando evidências de que o processo erosivo foi predominante em relação à acreção durante a maior parte do intervalo analisado. Observa-se que, nos períodos de 1999–2004, 2009–2014 e 1999–2024, a média indica um recuo da linha de costa, refletindo uma dominância dos processos de erosão. Em contrapartida, nos intervalos de 2004–2009 e 2019–2024, verifica-se uma tendência de avanço da linha de costa, com acréscimos médios de aproximadamente 3,5 m/a e 8,5 m/a, respetivamente. Importa ainda destacar o período de 2014–2019, no qual se registou uma mínima taxa de erosão, da ordem de -0,01 m/a.

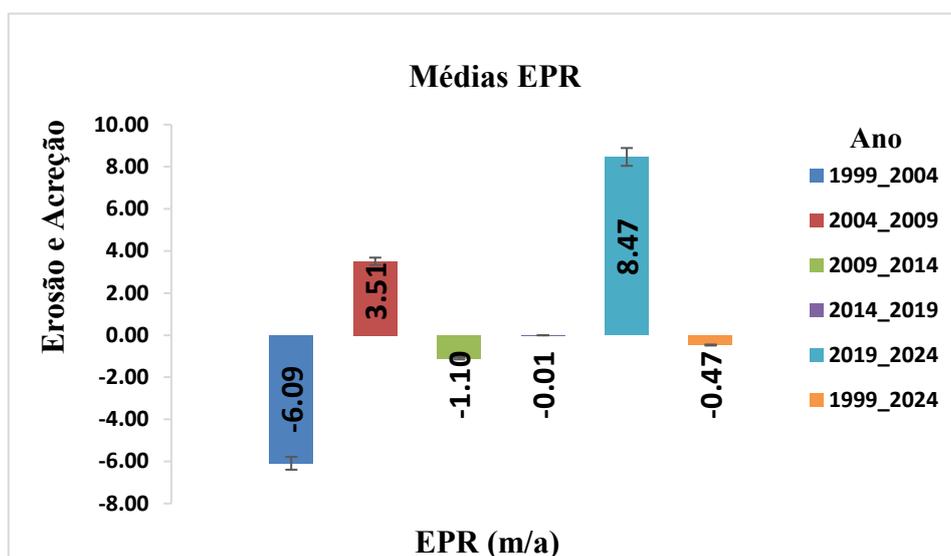


Figura 9: Gráfico da variação da linha de costa entre 1999-2024 (End Point Rate).

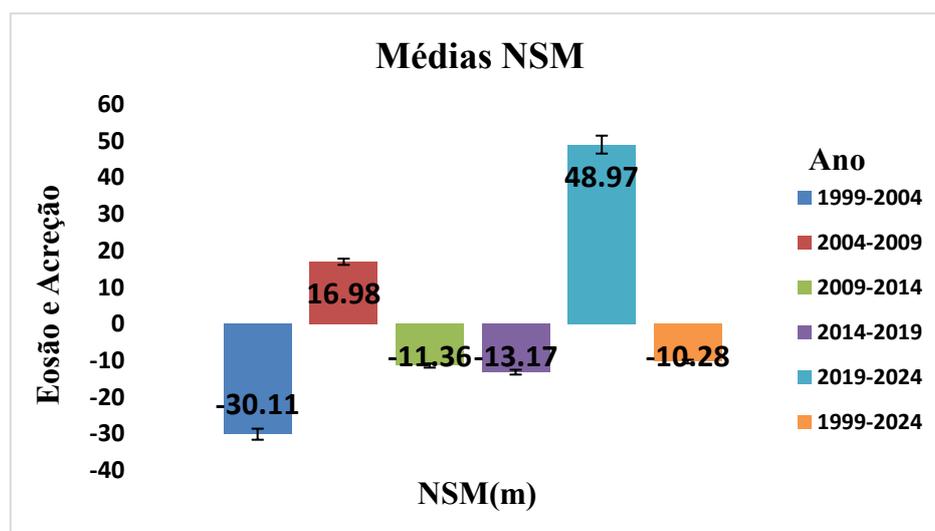
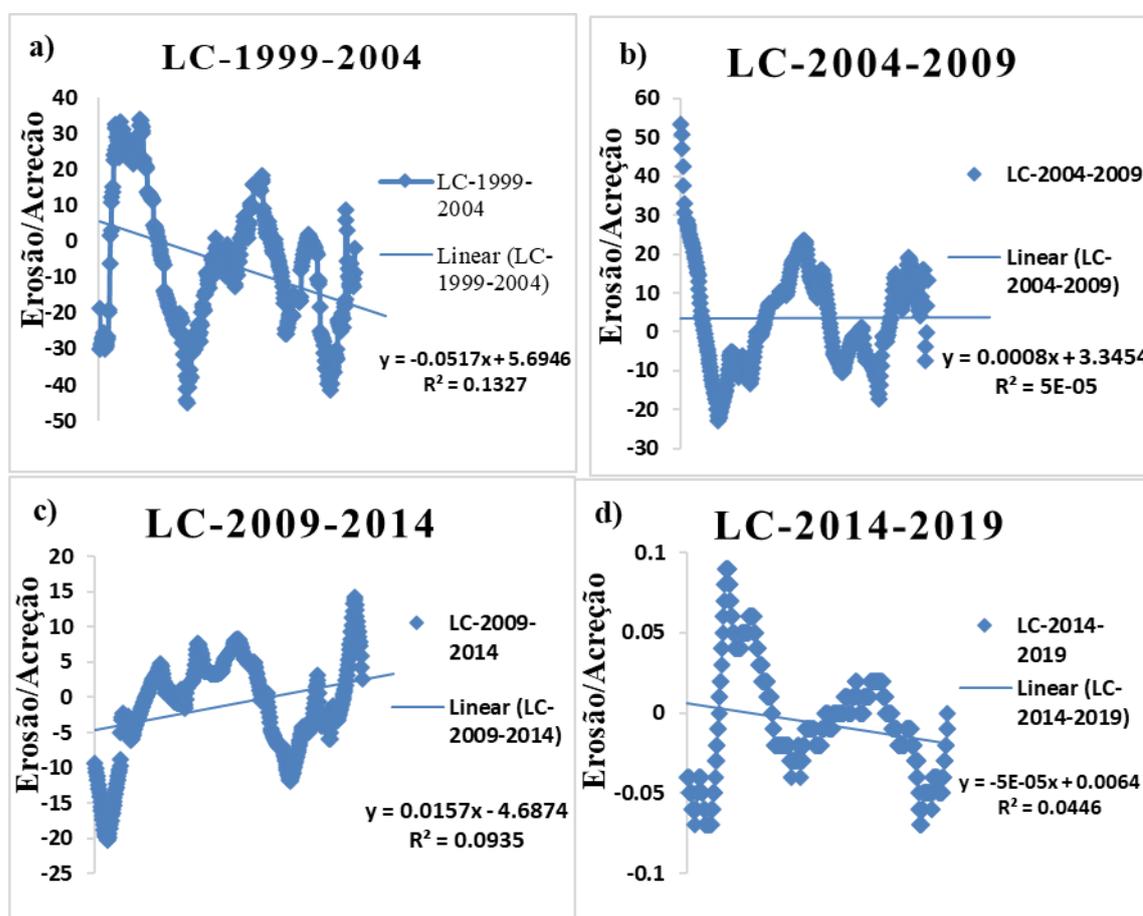


Figura 10: Gráfico da variação da linha de costa entre 1999-2024 (Net Shoreline Moviment).

A figura 10 representa as médias variações da linha de costa (NSM), sendo possível observar que o período de 2019-2024 foi o mais activo em termos de processos de avanço da linha de costa e que os mínimos avanços e recuos são observados entre 2009-2014. No período total analisado (1999-2024), a taxa média da variação da linha de costa foi de cerca de -10,28m.

Enquanto as Figuras 9 e 10 evidenciam as variações espaciais e médias da linha de costa, a Figura 11 apresenta os gráficos de dispersão associados a diferentes períodos temporais, acompanhados das linhas de tendência respectivas. A observação desses gráficos permite verificar que, com excepção dos períodos 2004 – 2009 e 2009 – 2014, Figura 11 (b e c), em eu as linhas mostram uma tendência estável e positiva, as demais séries apresentam linhas de tendência com inclinação negativa o que reforça a prevalência dos processos erosivos sobre os de acreção ao longo do tempo.



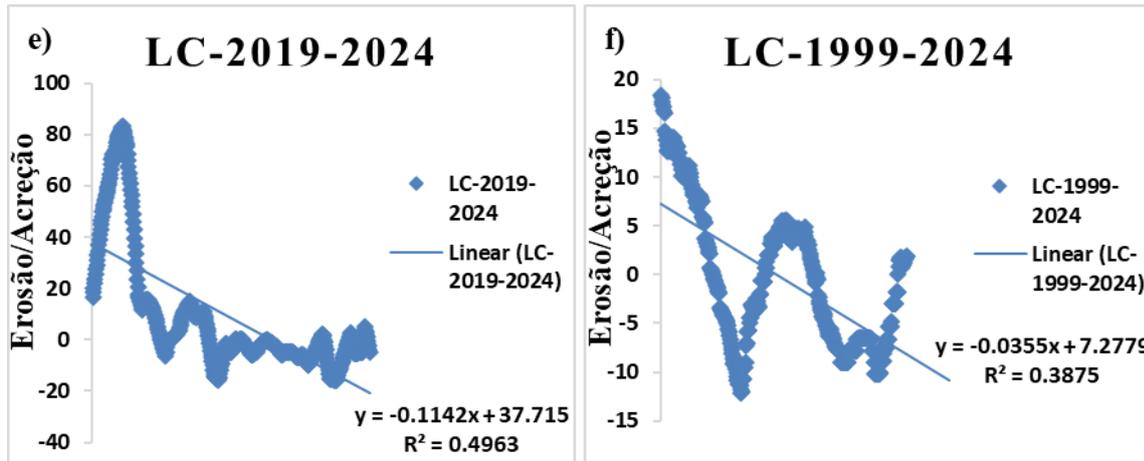


Figura 11: Gráficos de dispersão e linhas de tendência da variação da linha de costa na Baía de Inhambane, de 1999-2024.

Os coeficientes de determinação (R^2) são positivos, com valores variando entre 0,1 a 0,9 mesmo com a inclinação negativa das linhas evidenciando uma tendência geral de recuo da linha de costa, influenciada pelas elevadas taxas de erosão observadas em diversos anos.

4.1.3. Análise da relação entre a precipitação (como indicador de aporte sedimentar) e a sua influência na morfodinâmica dos bancos de areia.

Relativamente à análise da relação entre a precipitação (como indicador do aporte sedimentar) e influência na morfologia dos bancos de areia, a Figura 12 apresenta o gráfico das precipitações médias anuais. Verifica-se uma intensa precipitação entre os anos de 1996 a 2001, com uma média aproximada de 1385 mm, o que indica uma elevada disponibilidade de aporte sedimentar, seguido pelos anos de 2020 a 2024 com cerca de 1078mm, os anos com baixa pluviosidade são compreendidos entre os anos de 1990 a 1995 que é de cerca de 846,854mm.

Este regime pluviométrico excepcional contribuiu significativamente para o transporte e deposição de sedimentos nos ambientes fluviais, favorecendo a formação de bancos de areia expostos, que posteriormente passaram a apresentar colonização vegetal. Esta dinâmica é coerente com o entendimento de que quanto maior for a precipitação, maior será o fluxo de sedimentos transportados, sobretudo em ambientes hidrogeomorfológicos dinâmicos, como canais fluviais e zonas estuarinas.

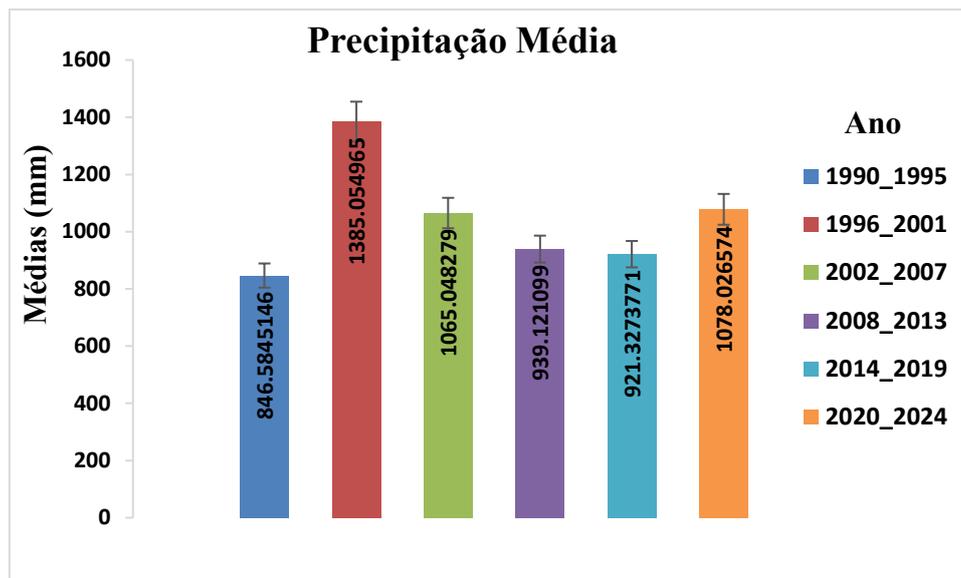


Figura 12: Gráfico da precipitação média anual, de 34 anos organizadas de 6 em 6.

Os altos índices de precipitação favorecem os processos de erosão e transporte de sedimentos que são a posterior transportados pelo rio e ao serem depositados são redistribuídos ao longo da costa por meio das correntes de deriva litorânea, resultando numa assimetria sedimentar nas feições costeiras como baías e prolongando a formação e a expansão dos bancos de areia.

Enquanto isso, a Figura 13 ilustra as análises da relação entre a precipitação e o aporte sedimentar. O coeficiente de determinação (R^2), apresenta um valor de 0,06 afirmando a existência de uma correlação estatística ínfima entre as duas variáveis, sugerindo que a precipitação influencia em certa medida o fornecimento de sedimentos.

O coeficiente de correlação (R), apresenta um valor aproximado de 0,24 e o coeficiente de significância da correlação (t_c) é de 0,497 o que aponta para uma correlação positiva fraca e existência de evidências mínimas para se afirmar a correlação.

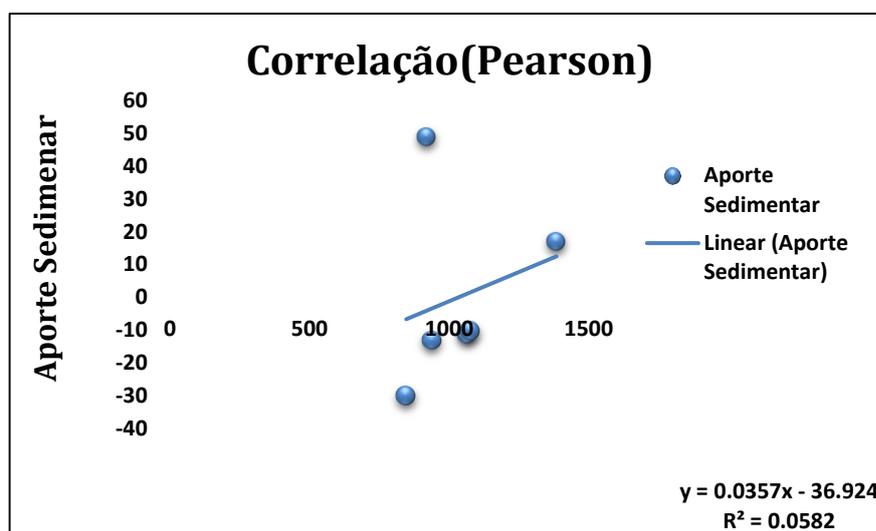


Figura 13: Gráfico de correlação entre precipitação e aporte sedimentar.

4.1. Discussão

A análise dos dados supracitados nas figuras e gráficos revela uma dinâmica morfossedimentar complexa na Baía de Inhambane, influenciada por diversos factores.

Em 1999, Figura 7(a), predominavam bancos de areia submersos ao longo do canal fluvial até à entrada da baía, com extensões reduzidas. Em 2004, Figura 7 (b) observou-se a emergência de bancos de areia expostos com cobertura vegetal, o que sugere um aumento significativo no aporte sedimentar, possivelmente associado às cheias de 2000, e em 2009 Figura 7 (c), ainda que com um elevado nível de assoreamento no canal fluvial registou-se uma regressão dos bancos expostos, voltando a uma condição predominantemente submersa. Este fenómeno possivelmente esteja relacionado com o aumento das actividades antrópicas na região e da constante mobilidade das dunas costeiras que reforçam a disponibilidade de sedimentos. Em 2014, observa-se um novo surgimento de bancos expostos com vegetação, Figura 7 (d), acompanhado de um aumento da extensão dos bancos submersos. De 2019 a 2024 Figura 7 (e,f), ocorre uma redução significativa dos bancos expostos embora não de forma total e ausência de vegetação, indicando uma tendência de estabilização morfológica.

As oscilações da linha de costa da baía (figura 8), tendo como referência a praia de barra, mostram mudanças significativas na linha de costa e na disposição dos bancos de areia entre 1999 - 2024, destacando-se a alternância entre processos de erosão e deposição. Essa variabilidade confirma a alta sensibilidade da região a mudanças hidrodinâmicas e climáticas. As taxas médias da variação da linha de costa (Figura 9) indicam que os maiores recuos ocorreram entre 1999 – 2004 e 2009 – 2014, com deslocamentos negativos acima de 40 metros. Por outro lado, o avanço mais expressivo foi registado entre 2019-2024, alcançando aproximadamente uma taxa de acreção de cerca de 80 metros/ano e

400m do total acrescido. O período de 2014 a 2019 apresentou relativa estabilidade, sugerindo um breve intervalo de equilíbrio morfodinâmico, exibindo valores médios de erosão e deposição onde são apresentados recuos significativos no início do período analisado (-6,08 m) em 1999 – 2004 e uma progradação acentuada no final (+8,47 m) em 2019 – 2024. Os eventos maioritários são erosivos revelando uma forte influência dos agentes modeladores da costa (cheias, tempestades, acções antrópicas) conforme descrito por Matsinhe, (2024), que reforça que esses parâmetros têm se mostrado essenciais para as configurações e variações da linha de costa. E o tipo de sedimento (arenoso) que predomina no local é propenso aos processos erosivos. Enquanto isso Kryniecka & Magnuszewski, (2021), veem ressaltar que em ambientes caracterizados por baixa energia hidrodinâmica, tendem ao acúmulo de sedimentos quando submetidos a regimes fluviais intensos.

No que diz respeito ao padrão das precipitações médias (figura 12), destaca-se o período entre 1996 e 2001, sendo um período de chuvas intensas, com média de 1385 mm, associado eventos extremos como as enchentes de 2000, essa elevada pluviosidade influenciou directamente no aporte de sedimentos para a baía. A análise da relação entre precipitação e aporte sedimentar, apresenta um coeficiente de determinação (R^2) de 0,06 e um coeficiente de correlação (R) de 0,24, o que indica uma correlação positiva fraca e o teste de significância do coeficiente (t_c) de 0,497 o que reforça a existência de evidências suficientes para afirmar que as variáveis (precipitação e o aporte sedimentar) estão correlacionadas.

Estudos como os de Charrua *et al.*, (2021) e Tembe, (2017) reforçam a relevância do regime de chuvas na evolução morfológica impulsionada pelo aporte sedimentar de áreas costeiras em Moçambique. Estas análises colocam em evidência o papel das enchentes de 2000 na configuração actual da Baía de Inhambane. Além disso, a baixa energia hidrodinâmica local limita o retrabalhamento dos sedimentos, caracterizando a região como uma zona de deposição preferencial, conforme observado por Bird, (2007) e Zhang, et al., (2021).

As análises de Tong *et al.*, (2014) e Rademann *et al.*, (2023), trazem como fundamento o elemento de redistribuição costeira de sedimentos, afirmando que: “*a redistribuição sedimentar induzida pelas correntes litorâneas, podem criar assimetrias na entrada de baías, modificando padrões locais de erosão e deposição*”. Essa dinâmica é evidente nos mapas temáticos analisados na (figura 7), que mostram uma expansão lateral assimétrica dos bancos de areia.

Por outro lado, a precipitação desempenha um papel central no suprimento e distribuição de sedimentos, influenciando directamente os processos de erosão, deposição e formação de bancos de areia, entrando em concordância com Okpobiri *et al.*, (2025), que destacam a utilidade de análises de regressão na previsão de respostas morfológicas costeiras a factores climáticos. Esta dinâmica

evidencia o papel crucial desempenhado pelas chuvas no aumento do aporte sedimentar fluvial, tornando-se um factor essencial na modelação da morfologia costeira e na evolução dos ambientes deposicionais estuarinos e deltaicos.

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Com base nos resultados obtidos durante a realização deste estudo, chegamos as seguintes conclusões:

- A Baía de Inhambane apresenta uma dinâmica dos bancos de areia marcada por variações morfodinâmicas significativas ao longo do tempo, evidenciando um padrão de evolução oscilatório sob a influência da acção dos agentes da hidrodinâmica local, responsáveis pela dispersão longitudinal dos sedimentos e conseqüente formação dos bancos de areia.
- A linha de costa registou variações significativas nos processos de erosão e acreção, com predomínio dos fenómenos erosivos, ainda que em algumas áreas se tenham observado situações de relativa estabilidade.
- A precipitação, embora por si só não determine a morfologia nem a dinâmica dos bancos de areia e a variação da linha de costa, favorece a disponibilidade e o escoamento de sedimentos, contudo, outros factores também interferem na dinâmica dos bancos de areia.
- A correlação de Pearson indica a existência de associação entre as variáveis analisadas.

5.2.Recomendações

Diante destes resultados, para estudos futuros recomenda-se que:

- Estude a influência dos agentes da hidrodinâmica local (ondas, marés) na dinâmica dos bancos de areia, da Baía;
- Relacione a variação da linha de costa com as oscilações do nível médio do mar;
- Modele as tendências futuras da linha de costa e da mobilidade dos bancos e areia.

CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS E ANEXOS

6.1.Referências Bibliográficas

- Almeida, F. S. (2018). *Clima e biodiversidade em Moçambique: Desafios e oportunidades para a agricultura*. Revista de Climatologia e Ecologia.
- Anfonso, C. M. (2006). *A paisagem da Baixada Santista: urbanização, transformação e conservação* (2 ed., Vol. V). Sao Paulo, Sao Paulo: U. d. Paulo.
- Baccaro, C. (1999). *Processos erosivos no Domínio do Cerrado*. In: GUERRA, A.J.T.SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org.). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. (1 ed.). Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.
- Bird, E. (2007). *Coastal geomorphology : an introduction* (2nd ed.). University of Melbourne, Australia: John Wiley & Sons Ltd.
- Bishop-Taylor, R., Nanson, R., Sagar, S., & Lymburner, L. (2021). *Mapping Australia's dynamic coastline at mean sea level using three decades of Landsat imagery* . doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112734>
- Campira, J., Munjovo, E. T., Cianciullo, S., Nicosia, E., & Macamo, C. (2021). *Mozambique Land Use and Land Use Change Assessment (2001–2020)*. SAPIENZA: UNIVERSITÀ DI ROMA & UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, Mangrove Forests Case Study.
- Chagas, F. M. (2013). *Dinâmica de ondas de areia na Baía de São Marcos (Ponta da Madeira/MA):observações e modelagem numérica*. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.
- Charrua, A. B., Padmanaban, R., Cabral, P., Bandeira, S., & Romeiras, M. M. (2021). *Impacts of the Tropical Cyclone Idai in Mozambique: A Multi-Temporal Landsat Satellite Imagery Analysis*. doi:<https://doi.org/10.3390/rs13020201>
- Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations version 3. . (2025). *CHIRPS3 Data Repository* . doi:<https://doi.org/10.15780/G2JQ0P>
- Cooper, J. A., & Green, A. N. (22 de Nov de 2023). Southern African Sandy Coasts in the Context of Near-Future Sea-Level Rise. Transactions of the Royal Society of South Africa. *African Journals*. Obtido em Abril de 24 de 2025, de https://hdl.handle.net/10520/ejc-royalsa_v78_n3_a149

- Davidson-Arnott, R. (2010). *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge, New York, United States of America.
- Duarte, A., Pinho, J., Pardal, M., Neto, J. M., Vieira, J., & Santos, F. (2001). *Effect of residence times on river mondego estuary eutrophication vulnerability*. (Vols. 2-3). Water Science and Technology.
- Fernandes, R. D. (2010). *Formação e evolução dos bancos de areia da foz do rio amazonas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Filho, C., Gimenez, A., Pires Neto, A., PRADINI, L., Melo, M., Fulfaro, V., & Ponçano, W. (1981). *Metodologia para estudo de assoreamento de reservatórios (II) Reservatório de Passo Real e Ernestina (RS)*. In: *Anais... CBGE, 3, Itapema (SC)* (Vol. II). São Paulo: ABGE.
- Filho, D. B., Rocha, E. C., Júnior, J. A., Paranhos, R., Neves, J. A., & Silva, M. B. (2014). *Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: O retorno* (8th ed.).
- Himmelstoss, E., Henderson, R., Kratzmann, M., & Farris, A. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018-1179*. U.S. Geological Survey. doi:<https://doi.org/10.3133/>
- Hoguane, A. M. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 7(1):69-82 (2007, 70-71). Obtido de <http://www.aprh.pt/rgci>
- Hoque, M. E., Chowdhury, S. R., Chowdhury, M. Z., & Uddin, M. M. (2021). *Morphological changes of a developing sandbar along the shoreline of Sonadia Island, Bangladesh between 1972 and 2006 using remote sensing*. Artigo de Pesquisa, Institute of Marine Sciences, Department of Oceanography, Bangladesh.
- Ingrid, S. (23 de 04 de 2023). *passeidireto*. Obtido em 25 de 04 de 2025, de <https://www.passeidireto.com/arquivo/121069416/o-que-e-uma-baia>
- INSTITUTO NACIONAL DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. (2013). *RELATÓRIO FINAL DO LEVANTAMENTO DA BAÍA DE INHAMBANE*. INSTITUTO NACIONAL DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO, DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA.
- Jupp, V. (2006). *The Sage Dictionary of Social Research Methods*. London: Sage.

- Kryniecka, K., & Magnuszewski, A. (2021). *Application of Satellite Sentinel-2 Images to Study Alternate Sandbars Movement at Lower Vistula River (Poland)*. Article. doi:<https://doi.org/10.3390/rs13081505>
- Lutjeharms, J. R. (2006). *THE COASTAL OCEANS OF SOUTH-EASTERN AFRICA: In The Sea* (Vol. 14B). (A. R. Brink, Ed.) Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Machado, G. M. (2010). *The morpho-sedimentary analysis of the beach shoreface inner continental shelf system in front of the National Park of the Restinga de Jurubatiba - Rio de Janeiro*. Departament of Geosciences, Rio de Janeiro.
- Martins, M. E. (2014). Coeficiente de correlação amostral. *Revista de Ciência Elementar*, II, 1-2.
- Matsinhe, A. M. (2024). *Estudo Espaço-temporal da Linha de Costa na Baía de Pemba de 1991 a 2022 Usando Imagens de Landsat*.
- Mechiço, A. A. (2018). *Estudo do comportamento das ondas de grande amplitude da praia de Tofo na cidade de Inhambane*. Licenciatura, Escola superior de ciências marinhas e costeira, Oceanografia, Quelimane.
- Moore, D. S., & McCabe, G. P. (2003). *Introduction to the Practice of Statistics* (50th ed.). New York , United States of America: W.H.Freeman and Company. Obtido de https://www.hgs.k12.va.us/bruce_norton_folder/misc/ips%20e%20excel%20manual.pdf
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). *Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones*. . Science.
- Okpobiri, O., Akajiaku, C. U., Eteh, D. R., & Moses, P. (2025). *Using Machine Learning and GIS to Monitor Sandbars Along the River Niger in the Niger Delta, Nigeria*. Article, River State University;University of Port Harcourt;Niger Delta University, Department of Geology, Nigeria.
- Oliveira, G. B. (2022). *Características biogeoquímicas e estado trófico das baías de ilha grande e sepetiba - RJ*. INSTITUTO DE QUÍMICA, GEOCIÊNCIAS, NITERÓI. Obtido em 16 de July de 2025, de <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/28939/>
- Pardo-Pascual, J. E., Sánchez-García, E., Almonacid-Caballer, J., Palomar-Vázquez, J. M., Santos, los., E. P., . . . and Balaguer-Beser, Á. (2018). *Assessing the Accuracy of Automatically Extracted Shorelines on Microtidal Beaches from Landsat 7, Landsat 8 and Sentinel-2 Imagery*. Article.

- Pearson, K., Fisher, R., & Inman, H. F. (1994). “*Karl Pearson and R. A. Fisher on Statistical Tests: A 1935 Exchange from Nature*”. (Vols. 48,1). The American Statistician.
- Pilkey, O. H., & Cooper, J. A. (2014). *The Last Beach*. Duke University Press: D. a. London.
- Rademann, L. K., Trentin, R., Robaina, L. E., & Breunig, F. M. (2023). *Avaliação da dinâmica de bancos de areia com imagens de alta resolução no rio Areal do Limeira, Sul do Brasil*. Article. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v57i0.87358>
- Rodrigues, C. M. (2012). *Precipitação* (1st ed., Vol. Capítulo 4). Brazil: Universidade de Évora.
- Silva, A. F. (2011). *Características hidrográficas do estuário da beira, moçambique*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Tembe, E. d. (2017). *Avaliação do fluxo de sedimentos em suspensão na região do Porto de Quelimane no Estuário de Bons Sinais província da Zambézia*. Monografia, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras (UEM), Oceanografia, Quelimane.
- Timba, C. L. (2017). *Estudo da Dinâmica do Banco de areia na região do porto, Estuário dos Bons Sinais*. Monografia, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras , Oceanografia, Quelimane.
- Tong, S. S., Pham, T. L., Gunasekara, K., Nguyen, T. N., & Deroin, J.-P. (2014). *monitoring coastal morphological changes using remote sensing and gis in the red river delta area, VIETNAM*. Article. Obtido em 22 de July de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/280531560_Monitoring_coastal_morphological_changes_using_Remote_Sensing_and_GIS_in_the_Red_River_Delta_Area_Vietnam?enrichId=rgreq-7dbe7143f9e195e17bb4779c45ff6cd8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MDUzMTU2MDtBUzozM
- Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*(27), 3025-3033. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Zhang, L., Yan, J., Zhao, B., Lin, X., Wang, P., Zhang, C., . . . Zhang, P. (2021). The Rapidly Evolving Fudu Estuary Sandbar Lagoon Landform on the East Coast of the Bohai Sea: Recent Changes and Mechanism. *Marine Science and Engeneering*, 14. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse9121350>

Zhou, N., Sheng, S., He, L.-Y., Tian, B.-R., Chen, H., & Chong-YuXu. (2023). *An Integrated Approach for Analyzing the Morphological Evolution of the Lower Reaches of the Minjiang River Based on Long-Term Remote Sensing Data*. Article, Remote Sens. doi:<https://doi.org/10.3390/rs15123093>

6.2.Anexos

Tabela 4: *Médias da variação da linha de costa.*

Ano	1999_2004	2004_2009	2009_2014	2014_2019	2019_2024	1999_2024
Medias	6.088901099	3.508329238	1.097877462	0.006434263	8.468199609	0.469678899

Tabela 5: *Cálculo de médias de precipitação.*

Ano	Médias de Precipitação
1990 1995	846.5845146
1996 2001	1385.054965
2002 2007	1065.048279
2008 2013	939.121099
2014 2019	921.3273771
2020 2024	1078.026574

Tabela 6: *Cálculo de correlação de pearson.*

Ano	Precipitação Média (mm)	Aporte Sedimentar	Correlação (Pearson)
1990 1995	846.5845146	-30.11	0.241283513
1996 2001	1385.054965	16.98	
2002 2007	1065.048279	-11.36	
2008 2013	939.121099	-13.17	
2014 2019	921.3273771	48.97	
2020 2024	1078.026574	-10.28	