



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Curso de licenciatura em oceanografia

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia

**Avaliação da Influência das Descargas Fluviais na
Distribuição da Salinidade no Estuário Bons Sinais-
Zambézia**

Autora:

Gésica Dulce Rafael Canivete

Quelimane, Novembro 2019



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Curso de licenciatura em oceanografia

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia

Avaliação da Influência das Descargas Fluviais na Distribuição da Salinidade no Estuário Bons Sinais- Zambézia

Autora:

Gésica Dulce Rafael Canivete

Supervisor:

Msc. Noca Bernardo Furaca da Silva

Co-Supervisores:

Msc. Teófilo Ferraz

dr. Banito Magestade

Quelimane, Novembro 2019

Dedicatória

Dedico esse trabalho a minha mãe Teresa Angelica Rafael por tudo que fez por mim e por se tornar minha motivação, se não fosse por te eu não conseguiria.

Agradecimentos

A Deus pela vida, força e protecção em toda minha jornada.

Aos meus pais pelas orações, amor, cuidados, conselhos, encorajamento, força, ensinamentos, a fé, confiança que depositaram em mim e pelo acompanhamento durante os meus estudos.

Ao meu supervisor Msc. Noca Furaca e aos meus co-supervisores Msc. Teófilo Ferraz e dr. Banito Magestade que sempre se mostraram disponível para ajudar, pelo apoio, paciência e pelo direccionamento ao quanto da realização do trabalho, que sem os quais não teria conseguido.

Ao Instituto de Bolças de Estudo, por terem financiado os meus estudos até então.

A Universidade Eduardo Mondlane, em particular a Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras pela oportunidade que me foi concedida.

À Direcção Nacional de Ciência e Tecnologia (DNCT), pelo financiamento da pesquisa para o trabalho de culminação dos estudos.

A todos docentes e funcionários da ESCMC que directamente ou indirectamente contribuíram na minha formação.

Ao Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação (INAHINA) - Beira pela oportunidade de estágio e a toda equipa técnica pela confiança, apoio e aprendizado fornecido durante o período de estágio.

Aos meus irmãos: Ivénio Canivete, Mídián Lam e Zulmira Canivete, pelas intersecções, pelas conversas, conselhos, risadas e por se fazerem presentes mesmo estando distantes.

Aos meus amigos de todos os tempos: Valêncio Mutine, pelas orações, conselhos, força e momentos compartilhados, Guilherme, Clementino, Hipólito, Janete, John e Chana por tudo.

Aos irmãos em cristo da I Igreja Batista de Quelimane pelas orações.

A família por mim criada em especial á Esperança, Anselmo, Nélio, Ana, Sónia, Fernando, António, Julieta, Nuno, Juvícia, Bela, Nélon, Ricardo e a todos que de forma directa ou indirecta fizeram parte da minha vida académica.

Á todos colegas, em particular aos colegas de oceanografia, biologia, química e geologia marinha do ano 2016.

Declaração de honra

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

(Assinatura)

(Gésica Dulce Rafael Canivete)

Resumo

A descarga fluvial é responsável pela entrada de água doce no estuário, uma vez que as descargas dependem maioritariamente da precipitação que é condicionada pelas estações do ano, factor esse que governa a distribuição do sal e principalmente regula o alcance da intrusão salina. Em estudos feitos no estuário dos bons sinais limitavam-se em descrever o alcance da intrusão salina sem observância da sazonalidade. Este aspecto levanta a questão do alcance do sal durante o ano. Para responder a esta pergunta foram efectuadas 7 campanhas ao longo do estuário Bons Sinais 11 estações incluindo os rios Cuacua 5 estações e Licuari 6 estações nos meses de Abril 2019 (época chuvosa), Julho 2018 (época intermédia), Setembro (2017 e 2019) e Novembro (2017) (época Seca), através de perfis usando CTD uma topografia usando uma Sonda. Resultados indicam a incursão de sal numa extensão de 20 km a 40 km ao longo do estuário Bons Sinais quando o caudal do rio é de 811 m³/s e 777 m³/s facto registado na época chuvosa, as Na época intermédia distribuição atinge mais de 60km no rio Cuacua, ao passo que na época seca a incursão do sal atinge mais de 60 km. O nível de salinidade varia de 8.006 PUS á 22.8 PSU, 29.17 PSU á 33.52 PSU e 0.043 á 7.85, nas épocas intermédias, seca e chuvosas dos rios Cuacua e Licuari, respectivamente. Ao passo que na época chuvosa o nível de salinidade media na boca é de 14.70psu e cunha salina termina aos 19.64 km isso aos 782 m antes da estação 5 (na região do Porto de Quelimane). Estes resultados nos levam a concluir que a distribuição do sal no estuário aumenta 30 km e 40 km nas épocas intermédias e seca, respectivamente.

Palavras-chave: *Salinidade, Temperatura, Descargas Fluviais, Alcance da Intrusão Salina.*

Tabela de abreviaturas

ZM	Zona de Mistura
ZC	Zona Costeira
ZR	Zona de Mare do Rio
PSU	Partes por mil
M	Metro
Km	Quilometro
S	Salinidade
ρ	Densidade
Σ	Salinidade na boca
ν	Viscosidade cinemática
μ	Viscosidade molecular
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celcius
GPS	Sistema de Posicionamento Global
<i>Re</i>	Número adimensional de Reynold
H	Profundidade
A	Área de secção transversal
x	Ordenada orientada da foz á montante
X	Alcance da intrusão salina
K	Coefficiente de difusão turbulenta do sal
R	Caudal do rio
b	Largura do rio

Lista de figuras

Figura 1: Área de estudo concretamente estuário dos bons sinais.	9
Figura 2: Representação esquemática da Estrada da água doce (descargas fluviais) e salgada (mares).....	12
Figura 3: Perfis longitudinais de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Cuácua.	16
Figura 4: Perfis longitudinais de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Cuácua.	17
<i>Figura 5: Variação longitudinal da salinidade e temperatura em profundidade, estações de bons sinais e cuácua.</i>	18
Figura 6: perfis de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Licuar	19
Figura 7: Perfis longitudinais de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Cuácua.	20

Índice

Dedicatória	ii
Agradecimentos	iii
Declaração de honra.....	iv
Resumo	v
Tabela de abreviaturas	vi
Lista de figuras.....	vii
1 Introdução	1
1.1 Problematização.....	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Objectivos:.....	3
1.3.1 Geral:.....	3
1.3.2 Especifico:.....	3
2 Fundamentação teórica	4
2.1 Conceitos.....	4
2.2 Classificação dos estuários	4
2.2.1 Classificação dos estuários segundo o balanço de água	5
2.2.2 Classificação do estuário segundo o grão de estratificação	5
2.2.3 Classificação segundo as marés	6
2.3 Frentes estuarinas.....	6
2.4 Efeitos mais importantes no estuário	7
2.4.2 Mares.....	7
3. Metodologia	9
3.1 Área de estudo.....	9
3.2 Colecta de dados	10
3.3 Tratamento dos dados	11
3.4 Métodos.....	11
3.4.1 Caracterização do fluxo	11
3.4.2 Determinação alcance da intrusão salina em função da sazonalidade:	12
3.4.3 Estimação da quantidade de descarga necessária para contrabalançar a intrusão salina ..	14
4.1 Característica do fluxo	15
4.2 Perfil de salinidade, temperatura e o alcance da intrusão salina nas épocas seca, intermédia e chuvosa.....	15
4.2.1 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Licuar na época seca.....	15

4.2.2 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Cuácua na época seca.....	16
4.2.3 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Cuácua na época intermédia	17
4.2.4 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Licuar na época chuvosa	18
4.2.5 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Cuácua na época chuvosa	19
4.3 Alcance da intrusão salina	20
4.3.1 Alcance da intrusão salina no rio cuácua na Época intermédia	20
4.3.2 Alcance da intrusão salina no rio Licuar na época Chuvosa	21
4.3.3 Alcance da intrusão salina no rio cuácua na época chuvosa.....	21
4.4 Estimação do caudal mínimo para reduzir o alcance da intrusão salina.....	21
4.4.1 Época intermédia	21
4.4.2 Época chuvosa	22
5 Discussão	23
6 Conclusões	26
6.1 Recomendações.....	27
Referências Bibliográficas	28
ANEXO I: Imagens dos instrumentos usados no campo	31
ANEXOS II: Descargas fluviais do cuacua, Licuar, e Bons Sinais	32
ANEXO II: cálculo do coeficiente de difusão turbulenta de sal	34

1 Introdução

O estudo sobre as características bem como sobre distribuição do sal num estuário tem apresentado uma elevada dificuldade, visto que estes sistemas apresentam habitualmente complexas geometrias, hidrodinâmica e padrões de transporte de massa. Porém, a interface entre as águas doce e salgada forçada pelas descargas dos rios, das marés e pelo vento apresenta características específicas, que influenciam as propriedades de mistura das massas de água do estuário. Sucede uma grande variabilidade nas características dos estuários em função das diferenças nas marés, descargas fluviais e pela forma como esses factores interagem com topografia (Dyer, 1997). Alterações no regime de caudais fluviais causadas pelas construções de barragens e pelas alterações batimétricas devido a variação do fluxo de sedimentos ou a remoção de areias são factores que podem modificar a estrutura da salinidade dos estuários e das correntes fluviais. Estas alterações podem afectar significativamente a utilização da água na agricultura, abastecimento doméstico e industrial.

Segundo Dyer (1986), a descarga fluvial é responsável pela entrada de água doce no estuário. O volume de água doce é escoada em direcção ao mar, fluindo sobre a água salgada que entra no estuário devido às marés o que ocasiona, uma circulação bidireccional, com a água doce fluindo em direcção ao mar na camada superficial e a água salgada entrando no estuário junto ao fundo.

De acordo com Miranda (1984), as variações temporais nas características das águas estuarinas dependem essencialmente de uma combinação da influência da descarga de água doce, das oscilações da maré, da circulação na região costeira adjacente a qual se sobrepõe também os efeitos da acção dos parâmetros meteorológicos e a geologia do estuário.

O estudo sobre a distribuição do sal num estuário, já vem sendo desenvolvido por (Pirea & Vital, 2002), (Duarte & Vieira, 1997), (Medeiro, 2003), (Viera & Pinho, 2007) em Moçambique estudos de género já foram desenvolvidos por (Bié, 2017) que tomou a cabo o estudo Numérico de Marés Meteorológicas na Costa Moçambicana, (Silva, 2011) desenvolveu um estudo sobre a hidrodinâmica do estuário da beira colocando como um dos focos a frente salina no mesmo local, (Vassele, 2004) que realizou um estudo no estuário de Incomáti, baseando-se num modelo matemático da determinação do alcance da intrusão salina.

No estuário Bons Sinais estudos sobre a distribuição da salinidade devido as descargas fluviais não encontramos nenhuma referência, porém há que destacar trabalhos que envolveram a salinidade como caso de (António, 2012) no qual caracterizava o estuário nas diferentes épocas do ano tendo em conta a salinidade, (Mazzilli, 2015) que faz uma descrição exaustiva do estuário tendo em conta a salinidade e descarga dos rios, (Cafermane, 2013) num Estudo combinatório do efeito das marés e descargas dos rios no estabelecimento da circulação devido ao gradiente de densidade.

Dos trabalhos desenvolvidos existe ainda a limitação da extensão da intrusão salina face as estações do ano (seca e chuvosa). A maioria de trabalhos de género têm recorrido a modelos matemáticos construídos com base em dados monitorizados nas quais são usadas para quantificar o caudal de água doce que é necessária para contrabalançar a intrusão salina nas captações de água a montante ou estimar a extensão da pluma de água doce nas águas costeiras adjacentes à embocadura fluvial.

A pesquisa pretende analisar a influência das descargas fluviais na distribuição da salinidade, para tal levou-se em conta as variações das estações do ano, as saídas de campo, análise e interpretação dos dados com vista a fornecer entendimento sobre os processos básicos que estão por de detrás dos parâmetros que influenciam na redistribuição do teor de sal, uma vez que as particularidades de cada estuário são factores decisivos no conhecimento necessário para o entendimento e tomada de decisões.

1.1 Problematização

O estuário dos Bons Sinais é definido com uma extensão de 30km, mais com o ecossistema presente nos rios Cuacua e Licuari nota-se que esse estende-se mais a dentro excedendo os 30km, apesar de ser notório a presença do teor de sal nas águas dos rios Cuacua e Licuari, facto que tem contribuindo para a diminuição das áreas de cultivos na região adjacentes aos dois rios. O teor de sal em ambientes estuarinos é observado pela presença de ecossistemas de mangal. Contudo, ao longo dos rios Licuar e Cuacua conectados ao Estuário Bons Sinais, verifica-se a presença de alguns ecossistemas de mangal, que constitui um indicador de teor de sal, facto que constitui uma problemática para a população que tem usado a água dos lenções freáticos para o consumo doméstico e para a prática da agricultura, visto que a qualidade da água é condicionada pelo alcance da intrusão salina, facto esse que para a comunidade dos pescadores dita a migração, estresse, morte de espécies de água doce. (Mazzilli, 2015), (Belkin, 2002), (Dyer, Sediment transport processes in estuaries, 1995), (Cossa, 2000), (Pinho, 2005).

Tendo em conta que as descargas dos rios é um factor determinante da extensão da intrusão salina e por serem governadas pela sazonalidade, a falta de uma definição recente para o estuário dos Bons Sinais, torna os estudos sobre a distribuição dos organismos nessa área um pouco complexa, cria dificuldades para a população agrícola no que se refere ao conhecimento dos sítios propícios de onde eles possam obter água para irrigar seus campos agrícolas, o que pode vir a afectar a qualidade de vida da população, uma vez que maior parte sobrevive da prática da agricultura.

1.2 Justificativa

Desde os tempos remotos, as zonas costeiras eram mais preferidas para habitação pois são caracterizadas pela abundância de recursos disponíveis, destacando-se a prática da agricultura e pesca. No entanto, os rios Licuar e Cuacua (conectados ao estuário), não divergem das práticas que caracterizam as zonas costeiras. Face as práticas que caracterizam esses rios (Licuar e Cuacua) é fundamental a realização de um estudo sobre a influência da descarga dos rios na distribuição da salinidade no estuário Bons Sinais visto que os resultados dessa pesquisa serão necessária para a população dessa região uma vez que dará a conhecer locais com água doce para o consumo doméstico, para a comunidade hidrológica será possível estimar o caudal mínimo necessário para contrabalançar o alcance da intrusão salina, aumentando significativamente o acervo académico para futuras pesquisas em relação ao tema em estudo. Por outro lado, irão contribuir na tomada de decisão por parte de dirigente locais assim como melhorar a definição do estuário Bons Sinais por parte da comunidade científica.

1.3 Objectivos:

1.3.1 Geral:

Avaliar a influência das descargas fluviais na distribuição da salinidade no estuário Bons Sinais.

1.3.2 Especifico:

- Caracterizar o fluxo no estuário Bons Sinais
- Determinar o alcance da intrusão salina nas épocas seca, intermédia e chuvosa;
- Estimar a quantidade de descarga necessária para contrabalançar a intrusão salina

2 Fundamentação teórica

2.1 Conceitos

Estuário é definido por (Dyer, 1972) como sendo um corpo de água costeiro, semifechada, com livre conexão com o mar aberto que se estende rio adentro até onde se faz sentir a influência das marés, dentro da qual a água do mar é imensuravelmente diluída com a água doce proveniente da drenagem terrestre.

Dalrymple *et al.*, (1992) redefiniram estuários levando a cabo os aspectos relacionados à sedimentação, o que se enquadra em um contexto mais geológico: estuários são vales fluviais inundados, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fósseis, influenciadas pela maré, ondas e processos fluviais, consideram que o estuário ocupa uma área que vai desde a desembocadura (boca) do rio (salinidades entre 30-35 PSU) até as regiões mais a montante (rio acima) onde a salinidade da água é de até 0,1 PSU.

Todavia é importante frisar que os estuários são considerados ambientes altamente produtivos, são os únicos sistemas aquáticos onde ocorre a interação dinâmica entre as águas doces, marinhas, sistema terrestre e atmosfera. (Day, *et al.*, 1989).

2.2 Classificação dos estuários

Com o passar dos anos, foram desenvolvidos vários critérios de classificação desses ambientes costeiros, importa referir que não existe nenhum consenso sobre qual das classificações é a mais completa. Surgiram várias propostas de classificação para os estuários que tomam como base a interação entre o prisma de maré e a descarga de água fluvial que são responsáveis pela geração dos diferentes tipos de circulação, processos de mistura, morfologia e sedimentação em cada estuário.

Baseado na interação de duas vertentes o estuário pode ser subdividido em zona estuarina fluvial (salinidade <1 PSU, com pouco efeito da maré), zona estuarina média (variação de salinidade de 1 a 35PSU é onde ocorre intensa mistura entre água oceânica e água fluvial) e zona estuarina costeira ou desembocadura (salinidade coincide com a salinidade oceânica).

Por outro lado, Dyer (1997), classifica o estuário com baseada nos padrões de variação de salinidade introduzida por Pritchard (1955), está estreitamente ligada à circulação da água dentro do estuário que é influenciada pela vazão fluvial, ondas, marés e também pelo vento. Esta circulação será função da importância relativa de cada um dos factores dinâmicos descritos acima.

O ambiente estuarino pode ser subdividido em três zonas:

- Zona Estuarina Fluvial, região onde a salinidade das águas é sempre menor que 1 PSU, mas os efeitos da maré ainda são observados.
- Zona de turbidez máxima pode ser observada, normalmente na região de salinidade entre 4 a 10 PSU.
- Zona Estuarina Costeira, localizada na região costeira adjacente onde a salinidade observada coincide com a salinidade oceânica.

2.2.1 Classificação dos estuários segundo o balanço de água

Pritchard (1952) propôs uma classificação para os estuários baseada no balanço de água. Ele apresentou três classes:

- a) Estuários positivos, onde a combinação entre a água doce proveniente dos rios, a água subterrânea e a precipitação excedem a evaporação;
- b) Estuários neutros, com um balanço entre a evaporação e a entrada de água doce;
- c) Estuários negativos, onde a evaporação excede a entrada de água doce.

Em geral, a salinidade e a profundidade de um estuário tendem a aumentar de forma mais ou menos regular do montante (rio) para a jusante (mar).

2.2.2 Classificação do estuário segundo o grau de estratificação

Estuários altamente estratificados

Quando o estuário é dominado pelo rio, ou seja, a força fluvial é mais forte que a força de maré, ele é classificado como um estuário altamente estratificado ou de cunha salina. Neste tipo de estuário a salinidade das águas de superfície é bem menor que a salinidade das águas do fundo, apresentando uma diferença acentuada no perfil vertical de salinidade (Dyer, 1997).

Estuário completamente misturado

Quando a força de maré é mais importante que a força fluvial o estuário é classificado como bem misturado. Neste estuário o perfil vertical de salinidade é homogêneo, ou seja, a salinidade das águas superficiais é igual à salinidade das águas do fundo. A salinidade da água só varia lateralmente, sendo mais alta na região oceânica e mais baixa em direção ao continente (Dyer, 1997).

Estuários parcialmente misturados

Quando a forçante fluvial e de maré são comparáveis, o estuário é classificado como parcialmente estratificado ou parcialmente misturado. Neste estuário o aumento de salinidade ocorre de maneira gradativa tanto na escala vertical quanto na horizontal. Estuários são ambientes costeiros de vida efêmera no tempo geológico, derivados do afogamento da linha de costa em função da elevação relativa do nível do mar. Esses ambientes parálisos são encontrados em qualquer condição de clima e mar é, sendo mais bem desenvolvidos nas planícies costeiras de médias latitudes. A última transgressão marinha do Holoceno provocou à inundação dos vales fluviais dando origem a maioria dos estuários atuais (Silva *et al.*, 2004).

2.2.3 Classificação segundo as marés

De acordo com Officer (1976), a classificação do estuário segundo as marés são:

Micromaré: é caracterizado por uma circulação dominada pela ação do vento e das ondas, e o efeito da maré fica restritas as proximidades da boca do estuário, a altura da maré é inferior a 2 m.

Mesomaré: é caracterizado por um circulação controlada pelas correntes de maré, geralmente a altura da maré é superior que 2 m e inferior a 4 m.

Macromaré: a circulação é dominada pelo efeito da maré e o efeito das ondas é importante na boca do estuário, a altura de maré é superior a 4 m e inferior a 6 m.

2.3 Frentes estuarinas

Um dos fenomenos que tem ocorrido nesses ambientes é a frente estuarina que segundo Dyer (1972) e Belkin (2002), é a fronteira dinâmica ao longo da qual algumas propriedades da água mudam de maneira brusca. Particularmente em estuários as frentes mais importantes são:

- A frente de pluma, geralmente ocorre na boca do estuário, onde a água menos salgada do estuário se encontra com a água mais salgada do mar costeiro;
- A frente de cunha salina se destaca por ocorrer com maior singularidade da velocidade da corrente da maré devido á fricção das fronteiras laterais do estuário;
- A frente de cisalhamento resultante da variação lateral da velocidade da corrente de maré devido á fricção das fronteiras laterais do estuário;
- A frente de mistura por marés que ocorre na fronteira entre uma camada de água bem misturada e uma camada de água estratificada.

A temperatura da água tem influência directa sobre os processos fisiológicos dos animais, plantas, e a actividade bacteriana, para além de factores ambientais tais como: a solubilidade dos gases, viscosidade e densidade das águas. Por outro lado, a salinidade é um parâmetro hidrológico muito importante na distribuição dos organismos de uma maneira geral, tornando-se até uma barreira ecológica para os organismos considerados estenohalinos. A estrutura dos parâmetros da temperatura e a salinidade são consideradas um suporte para a vida do ambiente marinho assim como costeiro. Há que destacar que o conhecimento destes parâmetros são requisitos básicos para todos os modelos ecológicos (Costa, 1991).

2.4 Efeitos mais importantes no estuário

Em estudos realizados por Duarte & Vieira (1997), definiram efeitos importantes que se fazem sentir nos ambientes estuarinos, sendo eles:

2.4.1 Escoamento fluvial e mares

O escoamento superficial é tido como a acção fluvial que determina a qualidade das águas estuarinas por induzir efeitos como:

A advecção – é o escoamento resultante, a acção das marés é considerada capaz de introduzir nos estuários poluentes (transportados pelo curso de água) e partículas em suspensão, que constituem o manancial mais importante do sedimento estuarino;

A estratificação vertical das águas estuarinas – faz com que a menor densidade de água doce determine o seu escoamento sobre a cunha salina, impossibilitando a mistura com a água salgada. É responsável por favorecer a inversão do sentido de escoamento das camadas de água inferiores, que transportam sal e poluentes para montante;

A existência de gradientes horizontais de salinidade - a batimetria e o efeito de Coriolis contribuem para a heterogeneidade dos valores da salinidade, a uma dada profundidade, facto que induz uma circulação gravitacional com características rotacionais, favorecendo a difusão turbulenta.

2.4.2 Mares

As Marés são variações cíclicas do nível do mar que dão origem a uma onda que se desloca da jusante á montante de um estuário. Os estudos sobre a propagação das ondas de marés podem ser utilizados na estimação das características da geometria do estuário, uma vez que a propagação dessa onda depende essencialmente da geometria do canal e das descargas de água doce proveniente dos rios.

A acção das marés pode ser decomposta em dois efeitos distintos: *o prisma de maré* que é traduzido pela capacidade de massa de água salgada que penetra ciclicamente no estuário, transportando o sal, poluentes e partículas em suspensão; *a oscilação das correntes de mares* que são responsáveis por dos fenómenos distintos: a dispersão da salinidade e de poluentes, isso dá-se por causa dos gradientes de velocidade.

3. Metodologia

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi feito ao longo do estuário Bons Sinais, rios Cuacua e Licuari. Este estuário e rios estão localizados na província da Zambézia. Os rios Cuacua e Licuari são considerados como afluentes do Estuário Bons Sinais por desaguarem a cerca de 30 km deste estuário. O estudo envolveu cerca de 25 km do rio Cuacua e 40 km no rio Licuari, como se pode notar na figura 1 a distribuição das estacoes ao longo do estuário e dos Rios. A parte estuarina assim como a parte dos rios estão protegidos por vegetação de mangal (*Avicenia marina*, *Xilocarpo Granatum*, *Brugueira Gimmoriza*, *Rizofora Mucronata*, *Soneratia Alba* e *Xeriopsi Tagal*) que se estende paralelamente aos canais numa largura não superior a 500 m.

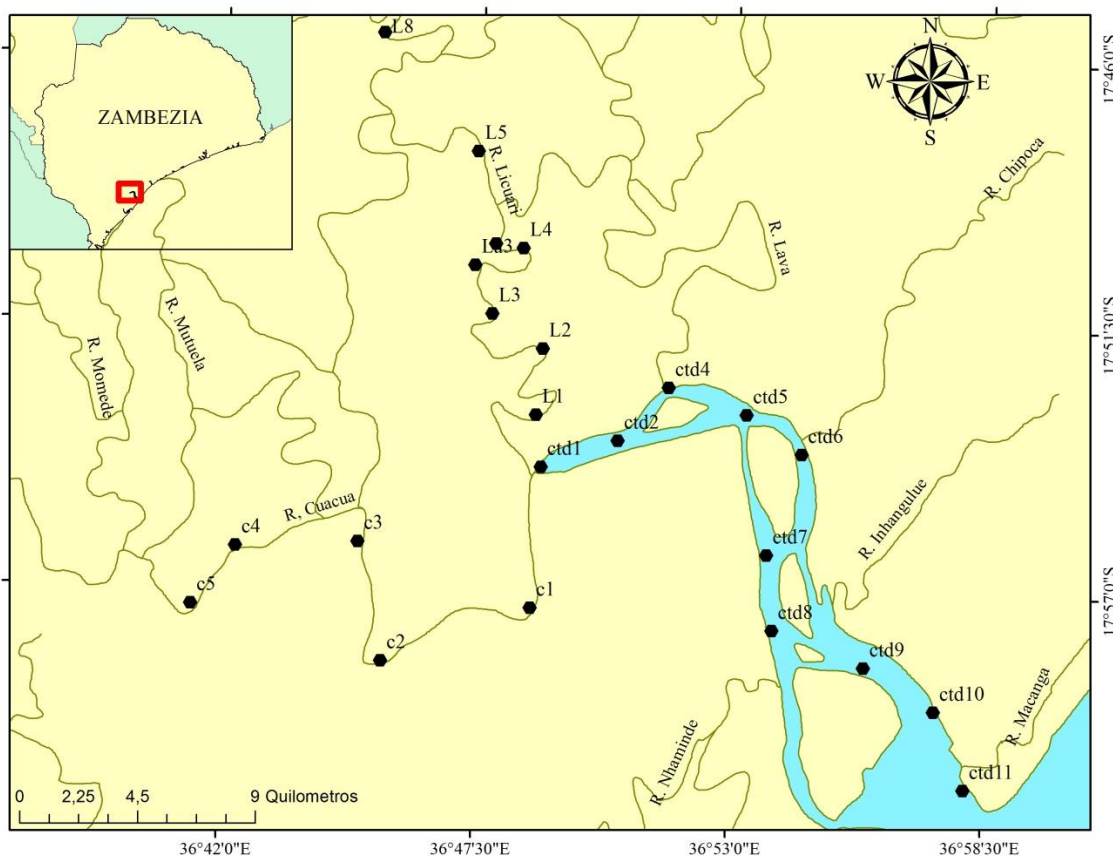


Figura 1: Localização do estuário Bons Sinais, rio Cuacua e Licuar

As marés na região são semidiurnas com desigualdade que varia de 5.5m a 1.0m nas fases de maré viva e maré morta respectivamente (INAHINA, 2017). Os módulos das velocidades são máximos de 0.9 m/s na região da boca decrescendo quando adentra a confluência, obtendo, nesta área velocidade máxima na ordem de 0.06 m/s, (Cumbi, 2019).

A região é caracterizada por um clima tropical húmido, com 2 estações distintas, seca (Maio-Outubro) e chuvosa (Novembro-Abril). Havendo maior pluviosidade no verão que no inverno (www.mozpescas.gov.mz).

De acordo com (Kottek, *et al.*, 2006) classificação do clima é tropical húmido, a precipitação média anual é de 1346 mm. O mês mais chuvoso é de Janeiro com a média mensal da precipitação de 251mm, o mês menos chuvoso é o mês de Setembro com a média de 16mm.

Quanto ao grau de estratificação o estuário Bons Sinais é classificado como sendo parcialmente misturado na época intermédia e seca, isso por apresentar um balanço entre das descargas dos rios e os fluxos dos mares (Mabota, 2009). E na época chuvosa é altamente estratificada, por apresentar características comuns de ser dominado por um elevado volume de descarga dos rios quando comparado ao fluxo devido a maré. Quanto as marés o estuário dos Bons Sinais é classificados como sendo estuário de Mesomaré por apresentar uma circulação controlada pelas correntes de maré e geralmente as amplitudes da maré são superiores a 2m e inferiores a 4m.

3.2 Colecta de dados

Foram colhidos dados de temperatura e condutividade da água em profundidade, na fase da enchente da maré de sizígia, com objectivo de se avaliar o comportamento da frente salina, no estuário Bons Sinais e nos rios Licuar e Cuácua (Figura 1). Todas as medições foram efectuadas em pontos fixos, denominadas estações, as 10 estações usadas ao longo do estuário Bons Sinais, são estações que já vem se usando para colheita de dados de monitoramento da temperatura e salinidade designadas como estações de CTD. 6 Estações do rio cuácua e 10 estações do rio Licuar, foram demarcados e as coordenadas foram determinadas com auxílio do programa *Google Earth* e com o auxílio do *GPS* (*global positioning system*) foi possível localizar as coordenadas no campo que já haviam sido pré-determinadas no *Google earth*.

A colecta de dados de temperatura, condutividade e profundidade foi feita no mesmo instante com um CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*), modelo RBR conector de referência 60092, com níveis de precisão de $\pm 0,005$ PSU para a salinidade, $\pm 0,005^{\circ}\text{C}$ para a temperatura e $\pm 0,15\%$ da escala total de profundidade. Com o auxílio de uma corda de 30 metros de comprimento foi possível fazer o perfil dos parâmetros com o instrumento, um peso de 10kg foi usado como suporte para evitar que o instrumento se movimente devido as correntes que se faziam sentir.

Importa referir que os dados de descarga usado no trabalho foram históricos extraídos do trabalho de (Mazzilli, 2015) e (Cumbi, 2019).

3.3 Tratamento dos dados

Os dados obtidos foram extraídos com o auxílio do programa *Ruskin* no formato *Excel*, onde foram analisados e reorganizados num formato que permitido o reconhecimento dos mesmos no *ocean Data View* é de referir que apos a reorganização dos dados no *Excel* foram gravados no formato *txt*, os resultados estão ilustrados no gráfico de secção. Com base na tabela de descargas de Mazzilli (2015), obtemos os dados de descarga do mês de Fevereiro e Julho, referentes a época chuva e intermédia respectivamente, para a época seca referente ao mês de Novembro, Setembro e Agosto fez-se uma, média dos dados das descargas extraídos na tabela de descarga de Cumbi (2019).

3.4 Métodos

3.4.1 Caracterização do fluxo

Para a caracterização do fluxo quanto a homogeneidade, recorreu-se ao número adimensional de Reynolds.

Sendo que o numero de Reynolds compara a importância relativa da força inercial e a viscosa, na determinação da resistência do fluxo, representadas na equação [1].

$$Re = \frac{uh}{\nu} \quad [1]$$

Onde o u é a velocidade, h a profundidade e ν a viscosidade cinemática dada por:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [2]$$

Sendo que μ é a viscosidade molecular e ρ a densidade.

Assumindo que a velocidade no estuário Bons sinais seria igual a media dos módulos das máximas velocidades registradas na boca e na confluência, então ficou-se com:

$$Re=13,02.10^6$$

Tabela1: caracterização do fluxo pelo número de Reynolds

Número de Reynolds	Características do fluxo
$Re < 2000$	Laminar
$2000 < Re < 10^5$	Transicional
$Re > 10^5$	Completamente turbulento

3.4.2 Determinação alcance da intrusão salina em função da sazonalidade:

A extensão da intrusão salina depende sobretudo do balanço entre a água doce fluvial e a água salgada proveniente do Oceano, na figura 2 esta representada como esse processo ocorre. Este fenómeno pode ser razoavelmente simulado através da utilização de modelos matemáticos com suporte de dados de monitorização. Estas ferramentas permitem quantificar a água doce necessária para contrabalançar a intrusão de sal no estuário.



Figura 2: Representação esquemática da Estrada da água doce (descargas fluviais) e salgada (mares).

Ao longo do percurso estuarino, os sistemas fluviais são caracterizados pela presença de zonas com características distintas, em função da salinidade e do sentido do escoamento, como se pode notar na tabela que se seguiu:

Tabela 2: Zonamento dos sistemas fluviais em função da salinidade

Zona	Sentido do escoamento	Salinidade (%)	
		Quantitativa	Qualitativa
Rio	Para jusante	≈ 0	Doce
Rio com maré	Para jusante com contracorrente	0-0,5 (sem intrusão salina)	Doce
Estuário	Alternado	0,5-5,0	Salobra
Baía/ Embocadura	Alternado	5,0-20,0	Salgada
Costa	-----	20,0-30,0	Salgada
Mar/Oceano	-----	30,0-35,0	Salgada

Fonte: Duarte & Vieira, 1997

Para a determinação do alcance da intrusão salina recorreu-se ao modelo simples usado na determinação do alcance da intrusão salina e o caudal mínimo para reduzir a intrusão salina, foi concebido a partir da equação simplificada de advecção-difusão do sal:

$$\frac{R}{A}S + K \frac{ds}{dx} = 0 \quad [3]$$

Onde: S- salinidade média no tempo e em profundidade;

R-caudal do rio;

A-Área de secção transversal do estuário ($A= b*h/2$); h- profundidade no ponto; b-largura do rio;

x- é a ordenada orientada da foz á montante

K- Coeficiente de difusão turbulenta longitudinal do sal.

A equação 3 deriva da equação da continuidade e da conservação do sal, se assumimos que o estuário ou a zona da foz do Rio é lateralmente homogéneo e as variações laterais da salinidade provocadas pela força de Coriolis são desprezíveis (VASSELE, 2005).

$$\frac{\partial}{\partial x}(Au) + \frac{\partial}{\partial z}(Aw) = 0 \quad [4]$$

$$A \left(u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(AKx \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial S}{\partial z} \left(AKz \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad [5]$$

x e z são coordenadas horizontal e vertical respectivamente, positivas em direcção ao mar, u e w são componentes da velocidade média.

Para a solução da equação [3] que seria o calculo do integral, assumiu-se que a área da secção transversal (A) e a descarga do rio (R) como constante e o coeficiente de difusão longitudinal da salinidade (K) como constante (não necessariamente constante, visto que está sujeita a variações temporais e espaciais devido aos processos de retenção da água e marés), assumimos esses parametros constantes para facilitar a resolução da integração. Deste modo ficamos com:

$$\int \frac{dS}{S} = -\frac{R}{AK} \int dx \quad [6]$$

Tem-se como resultado do integral [6] a equação [7]

$$\ln S = -\frac{R}{AK} x + const \quad [7]$$

Aplicando as condições de fronteira, assumindo que na for do rio, o alcance da intrusão (x) é nulo ($X=0$) logo a salinidade na foz é máxima ($S=\sigma$); a constante de integração toma o resultado;

Const= $\ln \sigma$; substituindo na equação [7] tem-se:

$$X = -\frac{A.K}{R} \cdot \ln \frac{S}{\sigma} \quad [8]$$

Onde X- Alcance da intrusão salina; σ é a salinidade em $X=0$ na foz do rio; A-Área de secção transversal que considera-se constantes no tempo e no espaço;

Coefficiente de difusão turbulenta do sal (K) por não ser constante porque varia no tempo e no espaço

Devido aos processos de retenção de água por marés, determinou-se para o estuário Bons Sinais, considerando a largura no ponto e a profundidade máxima do mesmo local.

Empregando a equação de advecção e difusão do sal [1], computando a média dos coeficientes de difusão turbulenta de cada estação, considerando que o valor da salinidade na foz do rio era maior e diminuía em direcção a montante.

$$k = - \frac{RS}{A \frac{ds}{dx}} \quad [7]$$

Onde: ds- Diferença entre os valores da salinidade em dois pontos adjacentes;

dx- Diferença entre os valores da distancia em dois pontos adjacentes

R- caudal do rio;

A- área transversal do estuario;

3.4.3 Estimação da quantidade de descarga necessária para contrabalançar a intrusão salina

Para a efectivar este objectivo, recorreu-se aos resultados do alcance da intrusão salina e com base nos mesmos, estimou-se o caudal mínimo com vista na redução da acção do sal, é de referir que os dados do coeficiente de difusão do sal (K), o caudal (R), o alcance da intrusão salina (X) e área da secção transversal foram imprescindível para a efectivação desse objectivo, os resultados são apresentados num gráfico bidimensional produzido no *Excel* contendo como variáveis o alcance da intrusão salina e o caudal do rio.

4 Resultados

4.1 Característica do fluxo

A comparação entre a mistura e a estratificação desempenha um papel crucial na dinâmica do estuário visto que quando o fluido é estratificado o gradiente de densidade resiste a transferência vertical do momento pela turbulência e é necessário uma velocidade de cisalhamento *extra* para causar mistura. No entanto, o fluxo no estuário Bons Sinais é maior que 10^5 , Portanto o escoamento é completamente turbulento.

4.2 Perfil de salinidade, temperatura e o alcance da intrusão salina nas épocas seca, intermédia e chuvosa

4.2.1 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Licuar na época seca

A figura 3 ilustra a distribuição longitudinal da salinidade e da temperatura desde a boca do estuário Bons Sinais até a sexta estação do rio Licuar. Como pode se notar a salinidade tem tendência a diminuir da jusante a montante. A salinidade máxima foi de 32.9 PSU na boca do estuário concretamente na estação BS11 foi decrescendo até uma salinidade de 28.12 PSU registrada na confluência do estuário estação BS1 e continuou decrescendo rio á dentro ate atingir valores na ordem de 3 PSU registrada no rio Licuar na estação L6. A temperatura teve o comportamento igual ao da salinidade, aumentando do montante á jusante, com temperatura de 26.8 °C na boca e 25.6 °C na confluência.

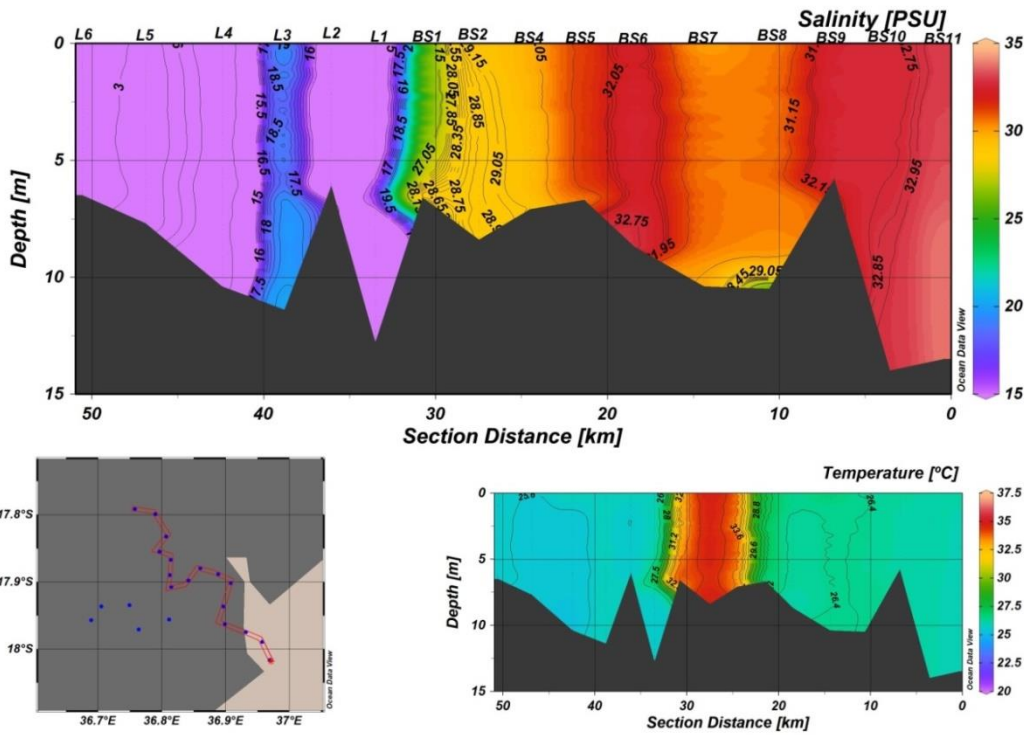


Figura 3: Perfis longitudinais de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Cuácuá.

4.2.2 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Cuácuá na época seca

A figura 4 está ilustrada o perfil longitudinal quanto da temperatura quanto da salinidade, em mostrou um comportamento para a salinidade em que ia diminuindo da boca em direcção á confluência mais mostrou uma particularidade diferente do que se esperava uma vez que voltou a aumentar a salinidade quando entrouse no rio quaqua. A salinidade maxima registrada foi de 33.03 PSU na boca do estuário e a mínima de 29.2 PSU registrado na primeira estação do cuacua e a temperatura foi aumentando da boca em direcção a confluencia, visto que quanto menor é a área maio é a difusão de calor na coluna de água.

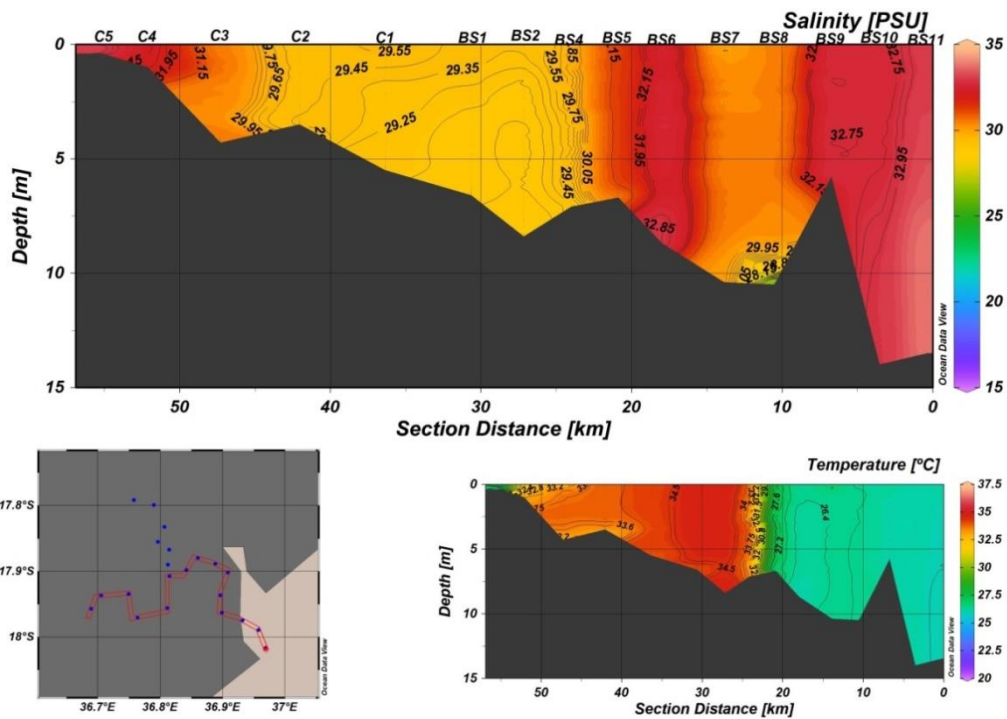


Figura 4: Perfis longitudinais de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Cuácuá.

4.2.3 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Cuácuá na época intermédia

Como está ilustrado na figura 5, nessa época tanto a salinidade quanto a temperatura foram diminuindo da boca à confluência, tendo registrado a máxima da salinidade na estação BS11 com 30.14 PSU a uma profundidade de 14.36 m sendo que a temperatura nesse ponto foi de 23,76°C é de referir que os máximos valores de temperatura registrados foram de 24.75°C, registrados na estação BS9 a uma profundidade de 0.49m, os mínimos valores de salinidade foi registrados na estação BS4 com 12.50 PSU a uma profundidade de 8.20 m e a temperatura nesse ponto foi de 23.92°C.

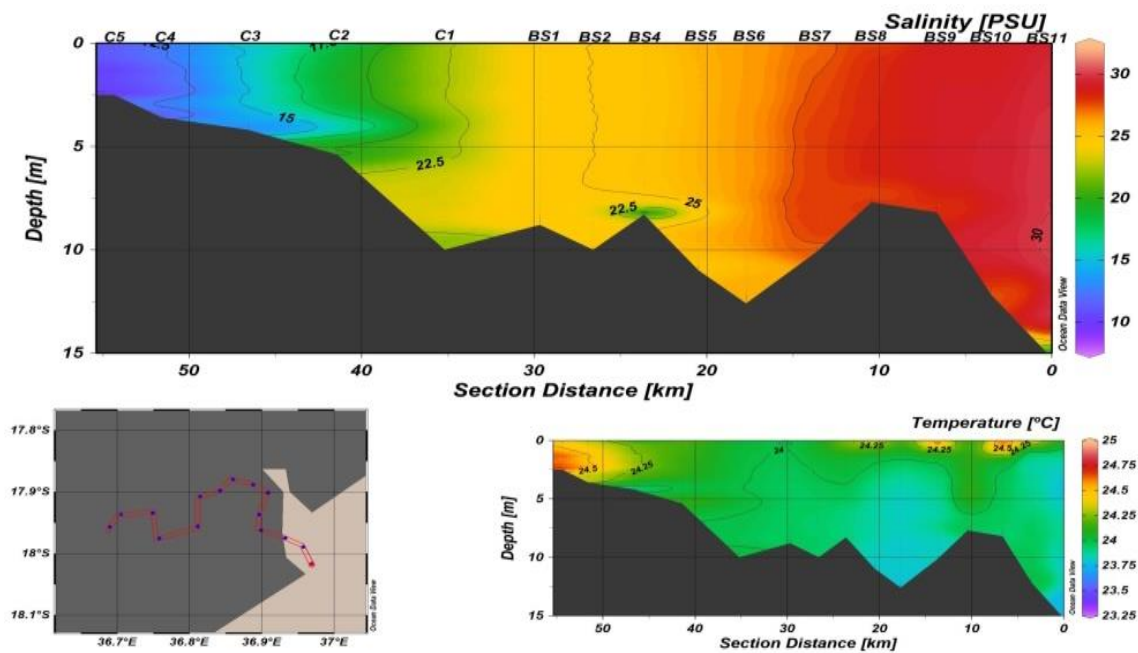


Figura 5: Variação longitudinal da salinidade e temperatura em profundidade, estações de bons sinais e cuácuá.

4.2.4 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Licuar na época chuvosa

A figura 6 ilustra os perfis da salinidade e da temperatura referentes as estações do estuário Bons Sinais e algumas estações do rio Licuar, os valores máximos de temperatura e salinidade registrados foram de 29.95°C e 20.5 PSU respectivamente ambos na estação BS10, e os mínimos valores de temperatura e salinidade registrados foram de 28.53°C registrado na estação BS10 e 0.06 PSU na estação L8.

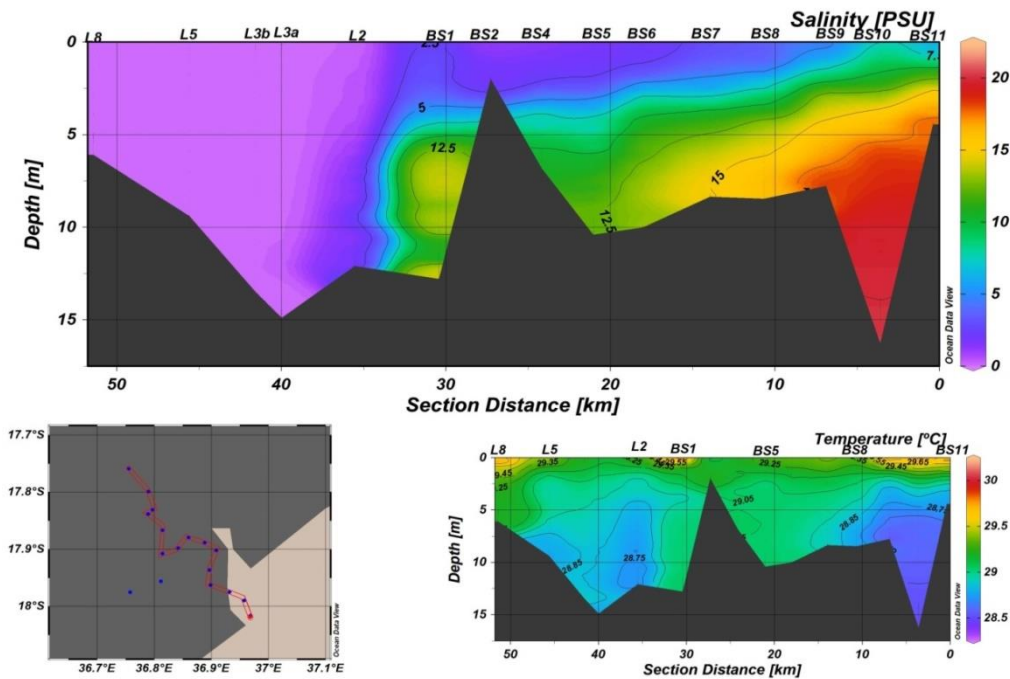


Figura 6: perfis de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Licuar

4.2.5 Distribuição da salinidade e temperatura no estuário Bons Sinais e rio Cuácua na época chuvosa

A figura 7 ilustra os perfis da salinidade e da temperatura referentes os estações do estuário bons sinais e algumas estações do rio cuácua, os valores máximos de temperatura e salinidade registrados foram de 29.95°C e 18.5 PSU respectivamente ambos no estuário na estação BS11, e os mínimos valores de temperatura e salinidade registados foram de 28.53°C registrada na estação BS10 e 2.5 PSU na estação C2.

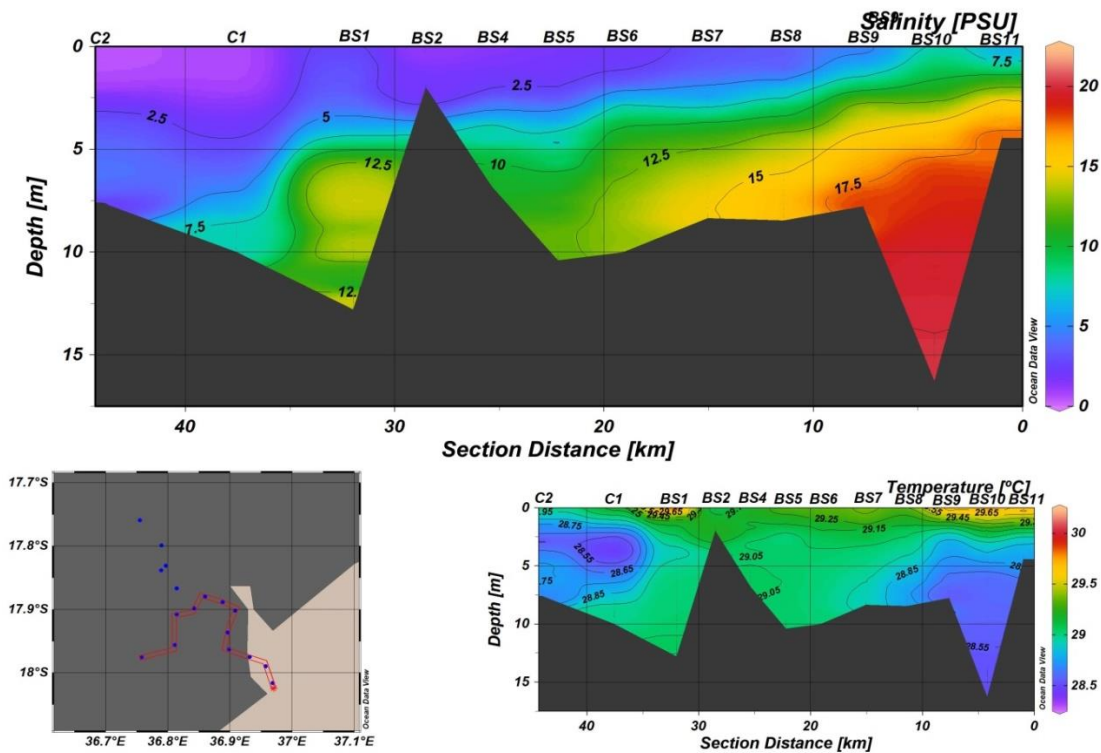


Figura 7: Perfis longitudinais de temperatura e salinidade em profundidade das estações dos bons sinais e Cuácuá.

4.3 Alcance da intrusão salina

4.3.1 Alcance da intrusão salina no rio cuácuá na Época intermédia

Segundo o modelo de determinação da intrusão salina, o valor do alcance da intrusão salina foi de 60,94 km, sendo que a média do caudal do rio foi de $143,1 \text{ m}^3/\text{s}$ e o coeficiente de difusão de sal foi de $2695,9 \text{ km}^2/\text{s}$, isso mostra que o alcance da intrusão salina foi uns 30 km a dentro do rio cuácuá conforme pode se observar na figura 5, a intrusão salina atinge aproximadamente 3,5 km depois da quinta estação do cuácuá.

Tabela 3: Alcance da intrusão sana no Rio cuácuá.

Σ	S	R (m ³ /s)	ds/dx	A (m ²)	K (m ² /s)	ln (s/σ)	X (m)
29	9	143,1333	-1792,93	2773,542	2695,987	-1,16662	60945,29213

4.3.2 Alcance da intrusão salina no rio Licuar na época Chuvosa

Segundo o modelo de determinação da intrusão salina, o valor do alcance da intrusão salina foi de 41,06 km, sendo que a média do caudal do rio foi de 777 m³/s e o coeficiente de difusão de sal foi de 2583 km²/s. É de referir que a intrusão salina atinge 622m depois da segunda estação do Licuar (L2).

Tabela 4: Alcance da Intrusão salina no Licuar na época chuvosa

Σ	S	R (m ³ /s)	ds/dx	A (m ²)	K (m ² /s)	ln (s/ σ)	X (m)
15	0.09	777	-98,404	2,415	2,583	-5	41,068

4.3.3 Alcance da intrusão salina no rio cuácua na época chuvosa

Segundo o modelo de determinação da intrusão salina, o valor do alcance da intrusão salina foi de 19,64 km, sendo que a média do caudal do rio foi de 811,7 m³/s e o coeficiente de difusão de sal foi de 2988 km²/s. Nessa tabela a intrusão salina atinge 782 m antes da estação 5.

Tabela 5: Alcance da intrusão salina no Rio cuácua

Σ	S	R (m ³ /s)	ds/dx	A (m ²)	K (m ² /s)	ln (s/ σ)	X (m)
15	2,5	811,7333	-3495,58	2977,085	2988,589	-1,79176	19639,19473

4.4 Estimação do caudal mínimo para reduzir o alcance da intrusão salina

4.4.1 Época intermédia

Como ilustra a *Figura 8*, na época intermédia o rio Cuacua apresenta uma diminuição do alcance da intrusão salina, quando o caudal do rio aumenta. O alcance da intrusão salina varia de aproximadamente 60000m correspondentes ao alcance máximo da intrusão salina, que é registrada quando o caudal é mínimo na ordem de 300m³/s, por outro lado observa-se aproximadamente 5000m correspondente ao alcance mínimo da intrusão salina que é registrada quando o caudal do rio é máxima na ordem de 1500 m³/s.

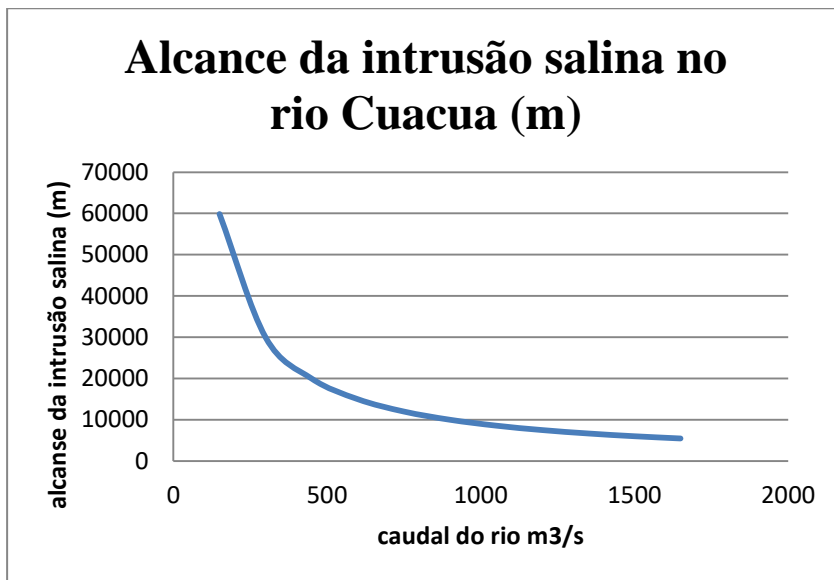


Figura 8: Alcance da intrusão salina no rio cuacua

4.4.2 Época chuvosa

Na *Figura 9* está ilustrado o alcance da intrusão salina no rio licuar, este apresenta uma diminuição do alcance da intrusão salina quando o caudal do rio aumenta. O alcance da intrusão salina varia de aproximadamente 400,000m correspondentes ao alcance máximo da intrusa salina, que é registrado quando o caudal é mínimo na ordem de 100 m³/s, por outro lado temos 19000m correspondente ao alcance mínimo da intrusão salina registrada quando o causal do rio é máximo na ordem de 2000 m³/s.

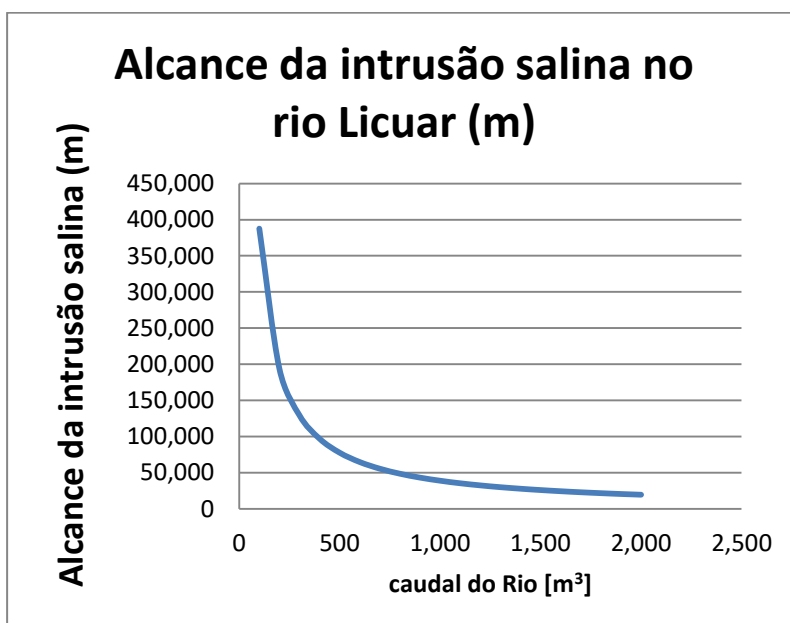


Figura 9: Alcance da intrusão salina no rio licuar

5 Discussão

5.1 Característica do fluxo

A comparação entre a mistura e a estratificação desempenha um papel crucial na dinâmica do estuário visto que quando o fluido é estratificado o gradiente de densidade resiste a transferência vertical do momento pela turbulência e é necessário uma velocidade de cisalhamento *extra* para causar mistura (Dyer, 1997).

No estuário, a turbulência é produzida pela influência dos limites geométricos imposta ao movimento, cisalhamento vertical da velocidade, tensão de cisalhamento do vento e ondas de superfície e internas. A intensidade da turbulência controla a distribuição vertical da concentração das propriedades da massa de água estuarina. Comportamento na característica do fluxo é previsível, uma vez que a dimensão espacial do corpo de água em causa é de 30,000m, as velocidades embora não influenciem muito, são baixas.

5.2 Análise da variação da salinidade e da temperatura

Como ilustram as figuras 3,4, 5, 6 e 7, altos valores de salinidade observados foram registrados na estrada do estuário, factor que pode estar relacionado com a influência das águas oceânicas. Embora a figura 4 tenha mostrado um perfil diferente do que se esperava, esse facto pode estar relacionado com a profundidade do local que era baixa, e com a influência do motor da embarcação poderia ter colocado sedimentos em suspensão o que influenciou significativamente no incremento da salinidade do local. A temperatura de modo geral mostrou um comportamento inverso ao da salinidade, visto que a mesma aumentava da em direcção a montante, isso está relacionadas com a difusão do calor, visto que as profundidades eram menores nos locais de altas temperaturas. Importa referir que no inverno os centros de altas temperaturas observadas dentro do estuário estão associados a ligeiras estagnações da água durante a enchente, com a influência da radiação solar a água superficial tende a elevar a temperatura.

Como esta ilustrado na figura na figura 3 e 4 a coluna de água na época seca apresentou uma homogeneidade vertical e parcialmente homogenia na horizontal.

Cafermane (2013), Obteve o mesmo comportamento quanto para salinidade tanto para a temperatura nessa época, em que a salinidade diminuía da jusante a montante com valores máximos de salinidade na ordem de 29 PSU á 23 PSU e a temperatura obteve o comportamento inverso ao da salinidade registrando valores de 22.4 °C na boca e 22.5 °C na confluência.

Com os resultados obtidos na presente pesquisa mostram que houve uma variação significativa tanto para a temperatura quanto para a salinidade uma comparando com os resultados que a Cafermane (2013) obteve, um factor que poderia estar por de traz dessa subida da salinidade e da temperatura pode se a elevação da temperatura uma vez que com o incremento da temperatura há aumento da evaporação e como consequência da elevada taxa de evaporação é o aumento da salinidade.

Na época intermédia a coluna de água apresentou-se de forma quase homogenia sendo que em estudos realizados no estuário dos bons sinais por Cafermane (2013), observou-se que a salinidade na boca era de 29 PSU e na confluência 23 PSU, e a temperatura registrada foi de 21°C na boca e foi aumentando em direcção a confluência atingindo valores máximos de 22.4°C e 22.5°C.

Segundos os resultados ilustrados na figura 5, mostram que houve um acréscimo de 1PSU na salinidade da boca em comparação com o ano 2011 em que Cafermane (2013) houvera colhido os dados, talvez esse aumento na salinidade deu-se pelo facto de que a temperatura tenha aumentado em 2°C o que poderia ter contribuído no incremento da evaporação.

Por outro lado Mazzilli (2015) obteve valores de salinidade na boca de 30 PSU e 5 PSU na confluência 23 PSU, facto esse que mostra um conportamento oscilatorio para as flutuacoes da salinidade.

Como ilustra a figura 6 e 7, ouveram umas flutuacaoe anormais talvez esse facto deu-se por conta da interpolacao dos dados que foram colhidos em dias meses e anos diferentes entretanto Cafermane (2013) obteve perfis que tiveram um comportamento aproximando, em que existiu uma estratificação na ao longo da coluna da agua tanto verticalmente como horizontalmente, a salinidade foi diminuindo da jusante a montante atingindo valores de 12 PSU na confluência e 22 PSU na boca e a temperatura máxima que se fez sentir foi de 30°C.

O valor máximo de salinidade registrado na boca foi de 20 PSU, isso pode ser justificado pelas chuvas torrenciais que se fizeram sentir na época em que foram colhidos os dados, e de referir que nesse ano a precipitação que se fez sentir foi maior em comparação com os outros anos, a temperatura foi de aproximadamente 30 °C, o que não difere dos resultados encontrados por Cafermane (2013).

Por outro lado Maziili (2015) regintrou valores de salinidae na ordem de 16PSU e 0.2PSU na boca e na confluencia respectivamente. Resultados completamente diferentes do a pesquisa e cafermane (2013) obteveram.

5.3 Estimativa do caldal mínimo para reduzir a intrusão salina

Para Vassele (2004), diz que em geral a salinidade da água do oceano é de aproximadamente 35 PSU e que em águas costeiras a salinidade atingiam valores menores que 33 PSU e eram relativamente altas em águas tropicais. A salinidade da água doce é sempre menor que 0.5 PSU pode-se confirmar na tabela 1 feita por Duarte & Vieira (1997).

E como pode-se se verificar na figura 5, o perfil de distribuição longitudinal da salinidade, não se encontrou valores na ordem de 0,5 PSU no entanto a salinidade estava decrescendo, o que acaba validando o alcance encontrado pelo modelo de determinação do alcance da intrusão salina.

Cafermane (2013) Encontrou perfis que tiveram o mesmo comportamento na época chuvosa, sustentou que a salinidade foi diminuindo da jusante a montante atingindo valores de 12 PSU na confluência e 22 PSU na boca e a temperatura máxima que se fez sentir foi de 30°C.

O valor máximo de salinidade registrado na boca foi de 20 PSU, isso pode ser justificado pelas chuvas torrenciais que se fizeram sentir na época em que foram colhidos os dados, e de referir que nesse ano a precipitação que se fez sentir foi maior em comparação com os outros anos, a temperatura foi de aproximadamente 30 °C, o que não difere dos resultados encontrados por Cafermane (2013).

6 Conclusões

Na determinação da intrusão salina no estuário dos Bons Sinais o modelo só é aplicável, as épocas: intermédia e chuvosa; não se aplica a época seca.

- Na época intermédia, o alcance da intrusão salina é de 60,94 km, sendo que atingiu 30km a dentro do rio Cuácua com o caudal médio do rio de 143,1 m³/s.
- Na época chuvosa o alcance da intrusão salina no rio Licuar foi de 41,06 km, sendo que atingiu 11.6km a dentro do rio Licuar com o caudal médio do rio foi de 777 m³/s.
- Na época chuvosa o rio Cuácua não sofre a intrusão salina.
- Na época intermédia a quantidade de descarga necessária para contrabalançar a intrusão salina no rio Cuacua é de 300m³/s
- Na época chuvosa a quantidade de descarga necessária para contrabalançar a intrusão salina no rio Licuar é de 1300m³/s.

O estuário bons sinais classifica-se como parcialmente misturado na época seca e intermédia, na época chuvosa classifica-se como sendo estratificado.

6.1 Recomendações

- Recomenda-se que para futuros estudos sejam colhidos dados de descargas;
- Recomenda-se também que, sejam levados a cabo o escoamento superficial, visto que é maioritariamente influenciada pela precipitação,
- Recomenda-se também que para os próximos estudos, possam-se englobar a questão da Dinâmica e transporte do sal.

Referências Bibliográficas

- António, M. H. (2012). *Hydrodynamics of the Bons Sinais Estuary*. Universidade Eduardo, Maputo, Moçambique.
- António, M. H. (2012). *Hydrodynamics of the Bons Sinais Estuary*. monografia, Universidade Eduardo, física, Maputo, Moçambique.
- Antunes, C. (2003). *glosario de mares*. Universidad, engenharia geografica. portugal: DEGGE LATEX.
- Belkin, I. (2002). *Physics an Biology of Ocean Fronts*. Journal of Marine Systems.
- Bié, A. J. (2017). *Estudo Numérico de Marés Meteorológicas na Costa Moçambicana*. Tese de Mestrado, Universidade São Paulo, departamento de Ciencias Atmosfericas, São Paulo.
- Brigatti, N. (2008). *Variação do nível do mar associada às situações sinóticas na gênese dos episódios extremos no município de Ubatuba/SP*. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Bruschini, C. (1998). *trabalho domestico: inatividade economica ou trabalho não remunerado*. sao paulo.
- Cafermane, A. C. (2013). *Estudo do efeito combinado das mares e descargas dos rios no estabelecimento da circulacao devido ao gradiente de densidade no Estuario dos Bons Sinais*. tese de Licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane.
- Carlos, P. (2017). *Condições hidrologicas nos campos de recuperacao de Mangal de Icidua, Cidade de Quelimane*. Monografia , Universidade Eduardo Mondlane.
- Carvalho, D. F., Mello, J. L., & Silva, L. D. (2007). *Irrigação e Drenagem*.
- Cossa, O. J. (2000). *Estudo da Intrusão Salina no Estuario do Rio Incomate*. Monografia, Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Física, Maputo.
- Costa, K. (1991). *Hidrobiologia e Biomassa Primária da Região Nordeste do Brasil entre as latitudes de 8.0000S e 2.4430S e as longitudes 35.5630E e 31.4800E*. Dicertacao de Mestrado, UFPE. Recife, Oceanografia Biologica.
- CRUCIANI, D. (1997). *Drenagem agrícola para recuperação dos solos afetados por sais*. SIMPÓSIO “MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA, Campina Grande.
- Cumbi, A. J. (2019). *Influência das marés e correntes de marés no tempo de renovação da água no estuário dos Bons Sinais*. Monografia, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras- UNIVERSIDADE EDUARDO MODLANE, Quelimane.
- DAY, J. W., HALL, C. A., KEMP, M., & YANEZ-ARANCIABIA., A. (1989). *Estuarine ecology*. (i. John Wiley & Sons, Ed.)
- Duarte, A. A., & Vieira, J. M. (1997). *CARACTERIZAÇÃO DOS AMBIENTES ESTUARINOS, MISTURA EM ESTUARIOS*. Universidade do Minho, Departameto de Engenharia Civil, Braga, Portugal.
- Duarte, A. A., & Vieira, J. M. (1997). *Caracterizacao dos Ambientes Estuarinos. Misturas em Estuarios*. Univercidade Do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Braga, Portugal.

- Dyer. (1972). Academic Press.
- Dyer. (1995). *Sediment transport processes in estuaries*. new york: Elsevier Science B.V.
- Dyer, K. (1997). *Estuaries : a physical introduction* (Second Edition ed.). Chichester: J. Wiley and Sons Ltd.
- Eggleston, D., Armstrong, D., Elis, W., & Patton, W. (1998). *estuarine fronts as conduits for larval transport: Hydrodynamic and Spatial Distribution of Dungeness crab post-larvae*.
- Fisher, H. (1981). *mixing in inland and costa water*. new york: academic press.
- FRENCH, P. W. (1997). *Coastal and Estuarine Management*. Routledge.: London.
- INAHINA. (2017). *Carta Nautica*.
- Indicators, C. C. (2016). sea level. *United Environmental Protection Agency*.
- KJERFVE B, P. J. (1982). *Temporal and spatial considerations in measuring estuarine water fluxes*. New York: Estuarine Comparisons.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (10 de julho de 2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, pp. 259-263.
- Mabota, H. S. (2009). *Grau de Estratificacao da Coluna de Agua no Estuario dos Bons Sinais*. Monografia , Universidad Eduardo Mondlane.
- Maffia, V. P. (2011). *Monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica Corrego Aguida*.
- Manjate, E. T. (2017). *Caraterizacao Morfológica e Sedimentar da Praia de Zalala*. Quelimane: UEM-ESCMC.
- Mann, K., & Lazier, J. (2006). *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-phical interation in the oceans*. (3 ed.). UK: Blackwell publishing.
- Mazzilli, S. (2015). *Understanding Estuarine Hydrodynamics for Decision Making in Date-Poor Coastal Environments*. Tese de Doutorado, University of Cambridge, Department of Geography.
- Miranda, L. (1984). *Cinémática e dinâmica de estuários*. . Apostila do Curso de Pós-graduação em Oceanografia, Instituto Oceanográfico/USP, Física.
- Officer, C. (1976). *Physical Oceanography of Estuaries*. Wiley.
- Pinho, B. A. (2005). *Intrusão salina no Estuario Tubarão do Grande*. Tese de Mestrado , Universiad Federal , Rio de Janeiro.
- Pirea, E., & Vital, H. (2002). Distribuição TERMOHALINA E CARACTERIZACAO DAS MASSAS D'AGUA NO ESTUARIO POTENGI-RN. *ResearchGate*.
- R.W. DALRYMPLE, B. Z. (1992). *Estuaries facies model: conceptual basis and stratigraphic implications*. *Journal of Sedimentary Petrology*.
- Silva, A. F. (2011). *CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DO ESTUÁRIO DA BEIRA, MOÇAMBIQUE*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- society, N. G. (marco de 03 de 2018). Sea Level Rise. *National Geographic society*, 13.

- Souza, R. M. (2015). *Caracterizacão Hidrodinâmica e Estimativa do transporte de sal no estuário do Rio São Francisco*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Ciências Atmosféricas.
- STOMMEL, H. (1953). *the role of density current in estuaries*. minneapolis: MINNESOTA INTERNATIONAL HYDRAULIC CONVENTION.
- Vassele, v. J. (2004). *Modelo de Intrusão Salina no Estuário do Rio Incomati Baseado na Influência Geométrica e Topografia do Estuário*. Monografia, Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Física, Maputo.
- Viera, J. M., & Pinho, J. L. (2007). DISTRIBUIÇÃO SALINA NA EMBOCADURA E ESTUÁRIO DO RIO LIMA EM DIFERENTES REGIMES HIDRODINÂMICOS. In D. Neves, J. L. Pinho, & J. M. Vieira, *Hidrodinâmica na Região Oceânica Adjacente à Península Ibérica. CMNE CILAMCE Métodos Numéricos e Computacionais em Engenharia*. Porto, Portugal.
- Wilson, J. G. (1994). *the role of bioindicators in estuarine management*. (Vol. 17). estuaries.

ANEXO I: Imagens dos instrumentos usados no campo



Figura 9: peso de 10kg



Figura 10. Corda.



Figura 11: GPs garmen



Figura 12. CTD



Figura 13. Sensor da sonda



Figura 7. Monitor da sonda

Anexos II: Descargas fluviais do cuacua, Licuar, e Bons Sinais

Cuacua

Date	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
1967-1968	0.93	16.08	199	278.9	550.8	314.73	358.8	133.3	51.96	65.85	21.84
1968-1969	0.81	2.52	70.4	137.8	283.8	229.83	252.3	90.6	34.62	14.91	5.13
1969-1970	0.45	1.62	60.6	136.7	220.3	125.46	249.99	68.31	22.44	13.77	2.49
1970-1971	0.36	0.9	28.9	123.2	101.6	93.87	61.92	41.79	14.58	9.81	1.56
1971-1972	0.27	0.39	25.7	83.01	94.47	64.86	39.36	23.31	9.63	5.37	1.14
1972-1973	0.18	0.27	22.6	59.13	75.54	63.51	34.02	12.42	3.6	2.04	0.81
1973-1974	0.15	0.12	3.24	47.94	41.43	60.93	32.76	9.12	3.12	1.5	0.75
1974-1975	0.09	0.09	0.48	45.69	39.15	42.45	31.95	7.71	3	1.47	0.57
1975-1976	0.06	0.06	0.48	41.79	30.78	30.24	28.47	6.42	2.58	1.47	0.45
1979-1980	0.06	0.06	0.42	3	13.89	21.39	28.23	4.71	2.1	1.38	0.45
1980-1981	-	0.06	0.36	0.9	10.02	13.89	27.54	3.84	0.42	0.36	0.18
Media	0.33	2.01	37.5	87.09	132.9	96.48	104.13	36.51	13.47	10.71	3.21

Licuar

Date	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
1967-1968	0.3	5.4	66.46	93	184	104.91	119.6	44.43	17.3	21.95	7.28
1968-1969	0.3	0.8	23.48	45.9	94.6	76.61	84.1	30.2	11.5	4.97	1.71
1969-1970	0.2	0.5	20.2	45.6	73.4	41.82	83.33	22.77	7.48	4.59	0.83
1970-1971	0.1	0.3	9.63	41.1	33.9	31.29	20.64	13.93	4.86	3.27	0.52
1971-1972	0.1	0.1	8.55	27.7	31.5	21.62	13.12	7.77	3.21	1.79	0.38
1972-1973	0.1	0.1	7.54	19.7	25.2	21.17	11.34	4.14	1.2	0.68	0.27
1973-1974	0.1	0	1.08	16	13.8	20.31	10.92	3.04	1.04	0.5	0.25
1974-1975	0	0	0.16	15.2	13.1	14.15	10.65	2.57	1	0.49	0.19
1975-1976	0	0	0.16	13.9	10.3	10.08	9.49	2.14	0.86	0.49	0.15
1979-1980	0	0	0.14	1	4.63	7.13	9.41	1.57	0.7	0.46	0.15
1980-1981	-	0	0.12	0.3	3.34	4.63	9.18	1.28	0.14	0.12	0.06
Media	0.1	0.7	12.5	29	44.3	32.16	34.71	12.17	4.49	3.57	1.07

Bons Sinais

Hidrologica	Out	Nov.	Dez	Jan	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun	Jul.	ago
1967-1968	1.24	21.4 4	265.8 4	371.8 8	734.36	419.6 4	478.4	177.7 2	69.2 8	87.8	29.1 2
1968-1969	1.08	3.36	93.92	183.6 8	378.36	306.4 4	336.4	120.8	46.1 6	19.8 8	6.84
1969-1970	0.6	2.16	80.8	182.2	293.76	167.2 8	333.3 2	91.08	29.9 2	18.3 6	3.32
1970-1971	0.48	1.2	38.52	164.2 8	135.52	125.1 6	82.56	55.72	19.4 4	13.0 8	2.08
1971-1972	0.36	0.52	34.2	110.6 8	125.96	86.48	52.48	31.08	12.8 4	7.16	1.52
1972-1973	0.24	0.36	30.16	78.84	100.72	84.68	45.36	16.56	4.8	2.72	1.08
1973-1974	0.2	0.16	4.32	63.92	55.24	81.24	43.68	12.16	4.16	2	1
1974-1975	0.12	0.12	0.64	60.92	52.2	56.6	42.6	10.28	4	1.96	0.76
1975-1976	0.08	0.08	0.64	55.72	41.04	40.32	37.96	8.56	3.44	1.96	0.6
1979-1980	0.08	0.08	0.56	4	18.52	28.52	37.64	6.28	2.8	1.84	0.6
1980-1981	-	0.08	0.48	1.2	13.36	18.52	36.72	5.12	0.56	0.48	0.24
Media	0.44	2.68	50	116.1 2	177.2	128.6 4	138.8 4	48.68	17.9 6	14.2 8	4.28

Anexo II: cálculo do coeficiente de difusão turbulenta de sal

Época intermédia

ESTACOES	Distancia (m)	Salinidade media (m)	Caudal do rio (m ³ /s)	Largura (m)	Profundidade (m)	ds/dx	Área (m ²)	K (m ² /s)
CTD11	0	28.9101410	138.84	2576	7.7555277	-8789.19	9989.12	3531.72
CTD10	3080	28.5597106	138.84	1419	8.6809929	28408.33	6159.16	-18289
CTD9	6291	28.6727409	138.84	1400	5.7814860	-6846.09	4047.04	6734.24
CTD8	10362	28.0780946	138.84	751	5.9209463	-7226.19	2223.31	12670.4
CTD7	13128	27.6953204	138.84	2148	6.7794147	-3252.9	7281.09	1717.89
CTD6	17620	26.3143988	138.84	535	8.4252565	-4270.6	2253.75	6922.92
CTD5	20422	25.6582846	138.84	772	7.9572450	-2198.53	3071.49	2549.90
CTD2	23652	24.1891182	138.84	220	4.2490191	3330.409	467.392	-23930
CTD4	26528	25.0526759	138.84	874	6.6033781	-22943.2	2885.67	27655.1
CTD1	29554	24.9207850	138.84	618	5.7313364	-2303.61	1770.98	4500.60
C1	35298	22.4273084	104.13	226	7.1513514	-3087.27	808.102	8921.97
C2	41983	20.2619646	104.13	213	3.5072851	-1003.48	373.525	5668.21
C3	47651	14.6136282	34.71	133	3.2263990	-2354.84	214.555	5567.17
C4	54600	11.6626873	34.71	41.3	1.7899016	-956.546	36.9614	10476.3
C5	57432	8.7020365	34.71	30.9	1.3562244	6599.834	20.9536	-95136

Época Chuvosa

Estações	Distancia (m)	Salinidade media (m)	Caudal do rio (m ³ /s)	Largura (m)	Profundidade (m)	ds/dx	Área (m ²)	K (m ² /s)
CTD11	0	14.7071430	138.84	2576	3.11258431	699.29635	4009.00859	-356.17
CTD10	3080	19.1115704	138.84	1419	12.2956618	-751.7364	8723.77208	228.650
CTD9	6291	14.8401266	138.84	1400	5.14461126	-1979.505	3601.22788	1132.55
CTD8	10362	12.783550	138.84	751	5.56346060	-2078.824	2089.07945	1766.15
CTD7	13128	11.452990	138.84	2148	5.537402019	-3729.746	5947.16976	997.246
CTD6	17620	10.2486192	138.84	535	6.00344957	-30048.06	1605.92276	26623.8
CTD5	20422	10.1553685	138.84	772	8.13072287	-1618.408	3138.45903	727.079
CTD2	23652	8.15958061	138.84	220	1.47006583	-445.1644	161.707241	3118.69
CTD4	26528	1.69904632	138.84	874	4.77257151	293.2368	2085.61375	-33.166
CTD1	29554	12.01835	138.84	618	9.99830564	-843.250	3089.47644	455.439
C1	35298	5.20660981	104.13	226	6.8322605	-2462.998	772.04544	1729.6
C2	41983	2.49243858	104.13	213	4.7092621	1018.188	501.53641	-526.89
L2	40446	0.98289479	34.71	125	9.0234571	-7895.34	563.96607	477.617
L3a	47479	0.09211705	34.71	101	8.4360528	-1487605	426.0206	11164
L3b	53223	0.08825581	34.71	120	7.0431533	-171814	422.58920	1245.4
L5	54938	0.07827409	34.71	69.2	6.64512053	-875737	229.921170	10348
L8	68958	0.06226473	34.71	55	4.5460585	1107497	125.01661	-19145