



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Licenciatura em Química Marinha

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha

Distribuição da sílica biogénica nos sedimentos intertidais do estuário dos Bons Sinais, na província de Zambézia



Autora

Leovistónia Francisco Cumbe

Quelimane, Março de 2019



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Licenciatura em Química Marinha

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha

Distribuição da sílica biogénica nos sedimentos intertidais do estuário dos Bons Sinais, na província de Zambézia

Autora

Leovistónia Francisco Cumbe

Supervisora

Doutora Eulália Domingos Mugabe

Quelimane, Março de 2019

Dedicatória

Aos meus pais Francisco Miguel Cumbe e Arlinda Alberto Chongo, vocês são a minha base e minha inspiração. É com o vosso ininterrupto apoio incondicional que sigo a minha caminhada.

Aos meus irmãos, Rafael, Alquina, Juvenália e Alberto pela força, confiança e pelo amor que depositaram em mim durante esta longa caminhada.

“Entrega o teu caminho ao Senhor;

Confia nele e Ele tudo fará”.

- Salmos 37:5

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus meu Pai celestial em nome do meu Senhor e Salvador Jesus Cristo, o filho de Deus vivo, pela vida, pela orientação, iluminação em todos os momentos durante este todo período e por tudo que tem feito e que continuará fazendo ao meu favor. Eis que tudo deve ser feito para honra e glória de Deus Pai.

Aos meus pais Francisco Miguel Cumbe e Arlinda Alberto Chongo, pelo apoio, incentivo e amor incondicional que sempre dedicaram a mim. Aos meus queridos irmãos Rafael Francisco Cumbe, Alquina Francisco Cumbe, Juvenália Lina Francisco e Alberto Francisco Cumbe pela companhia incomparável e indispensável durante este percurso, muito obrigada.

Aos meus tios Rafael Cumbi, Eugénio Cumbi, José Cumbi, José Cumbi, Helena Cumbi, Isabel Chongo, Felicidade Chongo, Heriqueta Chongo, Azélia Macache, Farida Massingue, Justino Cumbi, e primos Manuel Cumbi, Artimiza Cumbi, Epifania Chiziane, Erço Cumbi, Verónica Cumbi, Nelson Cumbi, Alberto Chongo, Obadias Chongo, Augusto Chongo, Francisco Chongo, Florinda Cossa por acreditarem em mim e torcer por meu sucesso, muito obrigada.

Ao corpo docente da ESCMC-UEM, a todos funcionários pelo acolhimento e conhecimentos fornecidos até ao fim do curso e aos meus colegas do ano 2015, que durante a nossa formação enfrentemos diversas dificuldades, superamos frustrações e, por conseguinte, vencemos a batalha, para sempre lembrarei de vós. Agradecimento especial ao grupo de Química Marinha, vocês são o catalisador necessário para alcançar a energia de ativação do meu amor.

A minha supervisora Doutora Eulália Mugabe pela paciência, confiança e apoio prestado durante a realização deste trabalho, um especial agradecimento.

A toda residência feminina e masculina pelo apoio directo ou indirecto, ficarão em minha lembrança. As meninas Cláudia Macheieie, Balbina Siteo, Katia Matucanduva, Marlene Massique, Adelaide Bambo, Luísa Banze, Sádía Acub, Sara Marina, Farida Cadir, Isabel Nhampa, Cacilda Mandlate, Gláucia Manjate, Mirena Nhaca, Célia Mause e Yula Rofino “caçula” e os meninos Félix Sodasse, Cândido Timba, Basílio Matlonhane, Anibal Joaquim, Evandro Zeus, Guelton Pedzisai, Justino Novela, Adriano Muhate, Elias Cumbane, Ricardo Mapulende por torcerem pelo meu sucesso e por proporcionarem momentos divertidos e de muito aprendizado.

Aos meus amigos e colegas Carlota Covane, Luísa Banze, Zuneyd Yura, António Matusse, Adriano Muhate, Guílcia Nhantugueja, Geraldo Nhatsave, André Mutombene, Abdul Mugabe, Luís Matavel, Ivete da Glória, Adelina Langa, Catarina Tomo Nélio Siteo e Ricardo Mapulende pelo apoio fundamental durante o percurso.

Aos meus fiéis amigos, que mesmo distantes se fizeram presente Eunícia Mate, Donaldo Guenha, Edna da Flavia (in memory), Onércia Gune, e Elton Ubisse vai o muito obrigado.

Ao grupo de oração da QL, em especial a ir. Júlia Cumbane, Ganiza Jaime, Agostinho Campira, José Leonel Uanheta, pelo apoio, fé, carinho e ensinamentos indispensáveis, muito obrigada. E por fim a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço bastante.

Kanimambo swineni! Thank you wholeheartedly!

Declaração de honra

Declaro por minha honra, que este trabalho de licenciatura em química marinha intitulado "*Distribuição da sílica biogénica nos sedimentos intertidais do estuário dos Bons Sinais, na província de Zambézia*", nunca foi apresentado na sua essência ou parte do mesmo para obtenção de qualquer grau académico e que, o mesmo é fruto de esforço e dedicação pessoal, estando devidamente indicadas no trabalho todas as fontes por mim consultadas para a sua elaboração.

Quelimane, Abril de 2019

(Leovistónia Francisco Cumbe)

Resumo

A sílica biogénica (BSi), é um nutriente essencial para certos produtores primários, principalmente as diatomáceas, elas usam para a formação do seu esqueleto, a sua disponibilidade com outros nutrientes principais contribuem para a qualidade da comunidade fitoplanctónica, foi necessário estudar a sílica biogénica no estuário dos Bons Sinais para saber como esta distribuída ao longo do estuário. O presente estudo, que tem como meta estudar a distribuição da sílica biogénica nos sedimentos intertidais, foi realizado no estuário dos Bons Sinais, localizado em Quelimane na província de Zambézia no mês de Dezembro de 2018. O delineamento experimental consistiu em colecta de sedimentos durante uma maré viva em quatro pontos de amostragem ao longo do estuário dos Bons Sinais, nomeadamente, Esgoto municipal, Nhambire, Karungo e Ilalane. Cada amostragem de sedimentos foi feita com três repetições para cada ponto. Posteriores análises no laboratório de Química da Universidade Eduardo Mondlane, onde foram determinados as concentrações da sílica biogénica nos sedimentos usando o método descrito por DeMaster (1981). Os resultados mostram que a maior concentração da sílica biogénica foi observada em Ilalane (464,0 mg/l), ponto a montante e a menor no esgoto municipal (172,0 mg/l). O teste de ANOVA verificou diferença significativa entre os pontos de amostragem ($p < 0,05$). Estes resultados sugerem que a maior contribuição de sílica nos sedimentos do estuário dos Bons Sinais é proveniente das “florestas de mangais mais densas a montante” ou das descargas de rios pelo facto da maior fonte da sílica ser da origem terrestre.

Palavras-chave: Produção primária, Nutrientes, Estuários, sílica biogénica.

Abstract

Biogenic silica (BSi) is an essential nutrient for certain primary producers, mainly diatoms, they use for the formation of their skeleton, their availability with other main nutrients contribute to the quality of the phytoplankton community. It is necessary to study the biogenic silica in the estuary of the Bons Sinais to know how it is distributed along the estuary. The present study, which aims to study the distribution of biogenic silica in intertidal sediments, was carried out in the Bons Sinais estuary, located in Quelimane in the province of Zambézia in December 2018. The experimental design consisted of sediment collection during a live tide at four sampling points along the estuary of the Bons Sinais, namely Municipal Sewage, Nhambire, Karungo and Ilalane. Each sediment sampling was done with three replicates for each point. Subsequent analyzes were carried out in the laboratory of Chemistry of Eduardo Mondlane University, where the concentrations of biogenic silica were determined in the sediments using the method described by DeMaster (1981). The results show that the highest concentration of biogenic silica was observed in Ilalane (464.0 mg / l), upstream and lowest in municipal sewage (172.0 mg / l). The ANOVA test showed a significant difference among the sampling points ($p < 0.05$). These results suggest that the greatest contribution of silica to the sediments of the Bons Sinais estuary comes from "denser mangrove forests upstream" or river discharges because the largest source of silica is from the earth's origin.

Key words: Primary production, Nutrients, Estuaries, biogenic silica.

Lista de abreviaturas

Abreviaturas	Significado
BSi	Sílica biogénica
ESCMC	Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras
mg/l	Miligramas por litros
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
°C	Graus Celsius
GPS	Sistema de Posicionamento Global
[BSi]	Concentração da sílica biogénica
ZE	Zona estuarina
ZR	Zona ribeirinha
UV/Vis	Ultravioleta visível

Lista de figuras e tabelas

Figura 1: Ciclo biogeoquímico de silício no ambiente aquático.....	6
Figura 2: Localização geográfica da área de estudo evidenciando os quatro pontos de amostragem.	8
Figura 3: Amostrador do fundo usado para colher amostras, lançamento do amostrador (a) e abertura para recolha das amostras de sedimento (b).	9
Figura 4: Desagregação dos sedimentos usando almofariz (a) e frascos de sedimentos desagregados (b).	10
Figura 5: Manta elétrica com o copo de Becker e termómetro para controle da temperatura (a) e o processo de filtragem das amostras (b).....	11
Figura 6: Espectrofotómetro usado para determinar as concentrações da sílica nos sedimentos.	11
Figura 7: Ilustração da variação da sílica biogénica nos pontos de esgoto municipal e Nhambire. .	12
Figura 8: Ilustração da variação da sílica biogénica nos pontos de Karungo e Ilalane.	13
Figura 9: Comparação da concentração da sílica biogénica entre a área estuarina e ribeirinha.....	14

Tabela 1: Teste - t student para duas amostras com variâncias desiguais.**Erro! Marcador não definido.**

Índice

Conteúdo	Páginas
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de abreviaturas	vii
Lista de figuras e tabelas	viii
CAPÍTULO I	1
1.1 Introdução	1
1.2. Problema	2
1.3. Justificativa	2
1.4. Objectivos	3
1.4.1. Geral	3
1.4.2. Específicos	3
CAPÍTULO II	4
2. Revisão da literatura	4
2.1. Sedimentos estuarinos	4
2.2. Sílica biogénica	4
2.2. Fontes da sílica	5
CAPÍTULO III	7
3. Metodologia	7
3.1. Área de estudo	7
3.2. Materiais e equipamentos	8
3.3. Amostragem	9
3.4. Tratamento das amostras	9
3.5. Análise das amostras	10
3.6. Determinação da concentração da sílica	11
3.7 Análise e tratamento de dados	11
CAPÍTULO IV	12

4. Resultados.....	12
4.1. Concentração da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente estuarino	12
4.1.1. Concentração da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente ribeirinho	12
4.2. Discussão	14
4.2.1. Determinação da concentração da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente estuarino	14
4.2.2. Comparação das concentrações da sílica biogénica dos sedimentos entre o ambiente estuarino com o ambiente ribeirinho	15
CAPÍTULO V	16
5. Conclusão e Recomendações.....	16
5.1. Conclusão.....	16
5.2. Recomendações	16
CAPÍTULO VI.....	17
6. Referências Bibliográficas.....	17

CAPÍTULO I

1.1 Introdução

O mangal é um ecossistema costeiro de transição entre ambientes terrestre e marinho, ocupando costas tropicais e subtropicais às margens dos oceanos e estuários. O mangal desenvolve-se nos solos húmidos, sob os climas variados de zona tropicais, de transição, húmido ou árido, em direção a clima temperados. O mangal ocupa os deltas dos rios e áreas de junção do mar com a terra que estão sujeitas a inundações pelas marés (Silva, 2001).

A área de cobertura de floresta de mangal em Moçambique é de 357.000 ha em 2004, sendo o país com maior área de floresta de mangal na África Austral (Marzoli, 2007). As florestas de mangal em Moçambique contam com 8 espécies, nomeadamente *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, *Heritiera littoralis*, *Lumnitzera racemosa*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba*, *Xylocarpus granatum* e *Pemphis acidula* (Barbosa *et al.*, 2001).

De acordo com Jennerjahn e Ittekkot (2002); Dittmar *et al.*, 2006) citados por Dhame *et al.* (2016), os mangais desempenham um papel importante na distribuição de diatomáceas costeiras e a subsequente exportação oceânica de matéria orgânica, devido à processos de reciclagem de sílica, bem como factores externos de hidrodinâmica e geomorfologia.

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, depois do oxigénio, e tem a sua origem no processo natural de intemperismo de rochas. Em águas fluviais e costeiras, o silício é encontrado na forma dissolvida (ácido silícico) ou particulada (sílica litogênica ou biogênica). É um importante nutriente, pois é constituinte da carapaça de organismos planctônicos tais como diatomáceas, sendo responsável por uma grande parte da produção primária fitoplanctônica (Augusto, 2014).

A sílica (SiO₂) é um importante nutriente no ambiente marinho pois, as diatomáceas, esponjas radiolares, siliciosas e silicoflagelados utilizam este nutriente para o crescimento e a formação de material esquelético.

O presente estudo pretendeu avaliar a distribuição da sílica biogénica no estuário dos Bons Sinais, em diferentes pontos de acordo com a densidade da floresta de mangal ao longo do estuário, como forma de produzir informações sobre a sílica biogénica.

1.2. Problema

A Sílica biogênica nos sedimentos da superfície reflete a contribuição de fitólitos de plantas e fitoplâncton silicoso como diatomáceas para a produtividade primária dos mares costeiros (DeMaster, 2002). Ecossistemas costeiros altamente productivos na interface terra-mar das regiões tropicais são ricos em fitólitos de plantas e, portanto, susceptíveis de ser um regulador principal na preservação e mobilização de sílica biogênica (Derry *et al.*, 2005; Zang *et al.*, 2016).

Os ecossistemas estuarinos são considerados ambientes ricos em nutrientes, devido à alta produtividade primária que conduz uma relação dos nutrientes fornecidos pelas fontes terrestres (lixiviação, fluxo de águas de rios, intemperismo) e, em relação com actividades antropogénicas através dos esgotos domésticos, resíduos agrícolas, industriais (Jesus, 2013).

A alta produtividade primária do ecossistema estuarino é devido as fontes terrestre dos nutrientes (lixiviação, fluxo de águas dos rios, intemperismo) e em relação com actividades antropogénicas através dos esgotos domésticos, resíduos agrícolas. Por sua vez, causa-se desequilíbrio no meio aquático devido as alterações do ecossistema como o abate das florestas de mangal que alimentam o meio estuarino. As acções antropogénicas, por sua vez, promovem a diminuição da retenção e aumento da mobilidade e disponibilidade de nutrientes para os ecossistemas marinhos (Smith, 2006; Rabalais, 2002; Ragueneau *et al.*, 2002).

A insuficiência ou simplesmente a falta de conhecimento concreto sobre a quantidade da sílica biogénica nos sedimentos do estuário dos Bons Sinais, impulsionou a realização deste trabalho de pesquisa.

1.3. Justificativa

Em Moçambique, especialmente na província da Zambézia, ainda não há estudos relacionados com a distribuição da sílica biogénica, que é importante contribuinte para a produtividade dos ecossistemas costeiros. Dentre os estudos relacionados aos sedimentos da zona intertidal destacam-se: quantificação de matéria orgânica do solo e identificação dos minerais do solo (Canche, 2017; Chichava, 2017)

Importa salientar que os ecossistemas estão ameaçados em função do aquecimento global, fragmentação de habitat e urbanização das regiões de mangais (IBAP, 2007). O presente estudo pretende produzir conhecimento sobre a distribuição espacial da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente estuarino e ribeirinho. Os resultados deste estudo poderão auxiliar na melhor tomada de decisão nas iniciativas de conservação dos ecossistemas de mangais e mitigações de acções antropogénicas como o abate das florestas de mangal.

1.4. Objectivos

1.4.1. Geral

- ❖ Analisar a distribuição espacial da sílica biogénica nos sedimentos ao do estuário dos bons sinais, na província de Zambézia.

1.4.2. Específicos

- ❖ Determinar a concentração da sílica biogénica nos sedimentos ao longo do estuário do ambiente estuarino e do ambiente ribeirinho;
- ❖ Comparar as concentrações da sílica biogénica dos sedimentos entre o ambiente estuarino com o ambiente ribeirinho.

CAPÍTULO II

2. Revisão da literatura

2.1. Sedimentos estuarinos

O sistema estuarino se destaca de outros da zona costeira por sua alta produtividade biológica, porém com uma intensa actividade humana que pode alterar essas funções e propriedades (Eschrique, 2011). Os ecossistemas estuarinos são considerados ambientes eutróficos, devido a alta produtividade primária conduzindo uma relação direta com os nutrientes fornecidos por várias fontes naturais: lixiviação, fluxo de águas de rios, intemperismo, e esgotos domésticos, que repõem os nutrientes, degradação ou transporte da matéria orgânica (Eschrique, 2007).

Os sedimentos são detritos rochosos resultantes da erosão ou precipitação química, depositados em formas de camadas de partículas soltas proporcionada pela diminuição da energia do fluído que os transporta, água, gelo ou vento (Leli *et al.*, 2010). Os sedimentos são classificados de acordo com o tamanho do grão, sendo alguns uniformes em tamanho de partículas, alguns misturados, com origem biológica e outra geológica (Sankaran *et al.*, 2014).

Os sedimentos participam do processo interno de sedimentação, reciclagem de nutrientes, deposição de matéria orgânica, que são importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos (Mendes Filho, 2009; Libanio, 2018).

Os sedimentos de estuários contribuem muito para adsorção e subsequente sedimentação de elementos de origem natural ou antropogénica em ambientes aquáticos (Salomons 1984 citado por Mendes Filho, 2009).

2.2. Sílica biogénica

O silício é um elemento nutritivo para algumas espécies, entra na composição de frústulas, espículas e outras estruturas de espécies planctónicas, a sua concentração nos oceanos é baixa, chegando a cerca de 1 μM de silício. Em zonas costeiras e em regiões estuarinas, as concentrações são maiores, em média cerca de 150 μM . (Aminot *et al.*, 1983).

O silício pertence ao grupo de nutrientes principais que incluem carbono, nitrogénio e fosforo que alimenta o ambiente contribuindo na produtividade do ambiente, e estão presentes no meio marinho por ser absorvido pelo fitoplâncton, para além de que a maioria do fitoplâncton é formado por diatomáceas que utilizam o silício na constituição das suas frústulas (Basto, 2014).

A crosta terrestre possui 27,7% em massa de Si em sua composição e os solos possuem em média 32% de Si, predominantemente na forma de minerais silicatados, primários ou secundários. Porém, o silício encontra-se em maior concentração na forma de ácido silícico (H_4SiO_4), disponível na solução do solo, onde a maior parte não se encontra dissociada, o que torna o nutriente mais prontamente disponível (Menegale *et al.*, 2015).

O ciclo biogeoquímico deste elemento está sujeito à influência sazonal e às alterações antropogênicas. A sílica biogénica (BSi) é um nutriente essencial para certos produtores primários (principalmente as diatomáceas), a sua disponibilidade com outros nutrientes principais (N, P) contribuem para a qualidade da comunidade fitoplanctónica (Tallberg *et al.*, 2012).

2.2. Fontes da sílica

A fonte maioritária do silício na natureza são os minerais siliclásticos presentes em rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares. Essas rochas podem sofrer intemperismo físico ou químico, libertando silício na forma particulada e dissolvida, que são transportadas pelos rios, estima-se que cerca de 80% da quantidade de sílica que chegam aos oceanos sejam originados de águas fluviais (Augusto, 2014).

De acordo com (Oulsson e Cato, 1991) a sílica dissolvida (DSi), sob a forma química ácido silícico (H_4SiO_4), é em parte retirada por organismos como as diatomáceas que a utilizam na formação de seus esqueletos, após a morte das mesmas, este material é libertado na água, podendo ser novamente solubilizado ou continuar na forma particulada. O material particulado é classificado como sílica biogénica (forma amorfa, originada de organismos) e como sílica litogénica (forma cristalina, originada do intemperismo de rochas) (Figura 1). As zonas estuarinas são de grande importância no ciclo biogeoquímico do silício, pois podem funcionar como um depósito para a sílica biogénica e litogénica originárias dos rios, além de atuar como um filtro da sílica dissolvida, visto que este nutriente tem uma concentração bastante baixa nas águas oceânicas.

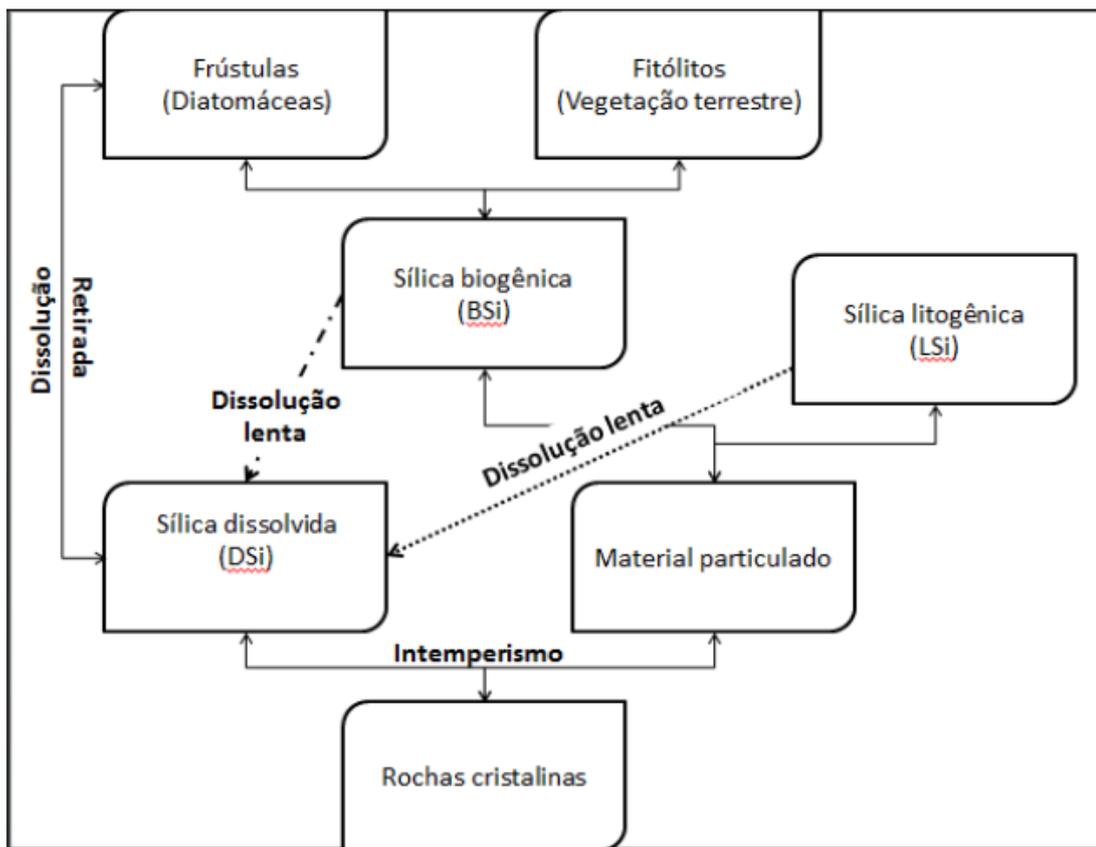


Figura 1: Ciclo biogeoquímico de silício no ambiente aquático. Fonte: Olousson e Cato, 1991

Os ecossistemas estuarinos são considerados ambientes ricos em nutrientes, devido à alta produtividade primária que conduz uma relação dos nutrientes fornecidos pelas fontes terrestres (lixiviação, fluxo de águas de rios, intemperismo) e, em relação com actividades antropogénicas através dos esgotos domésticos, resíduos agrícolas, industriais (Jesus, 2013).

CAPÍTULO III

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

O Estuário dos Bons Sinais está localizado na zona centro do país, na província da Zambézia, com uma largura média de 0.6 Km e cerca de 30 Km de comprimento, limitada pela floresta de mangal ao longo das margens, constitui limites entre os distritos de Quelimane a norte e a sul de Inhassunge (Chichava, não publicado). O Estuário dos Bons Sinais é alimentado por dois rios (Licuar e Cuacua) que se encontram na região denominada confluência, sendo alimentado pelas descargas de efluentes e pelos mangais que trazem nutrientes abundantes e a sustentam em alta produtividade primária.

O estuário situa-se numa região com clima tropical húmido caracterizado por estações chuvosa e seca, com um período de Outubro à Março e de Abril à Setembro respectivamente, a maré é semi-diurna com uma amplitude média de 2,6m e apresenta uma profundidade média de 12 m; os seus sedimentos são constituídos maioritariamente por argila (Timba, 2014).

3.1.1. Delineamento amostral

Foram definidos quatro pontos de amostragem de acordo com a sua localização ao longo do estuário e na zona ribeirinha, o primeiro ponto é do esgoto municipal entre as coordenadas 17 88 216° Sul e 036 88 271° Este, Nhambire entre 17 028 79° Sul e 036 028 78° Este, Karungo entre 17 95 989° Sul e 036 79 781° Este e Ilalane entre 17 79 711° Sul e 036 77 607° Este, ilustrado na figura 2.

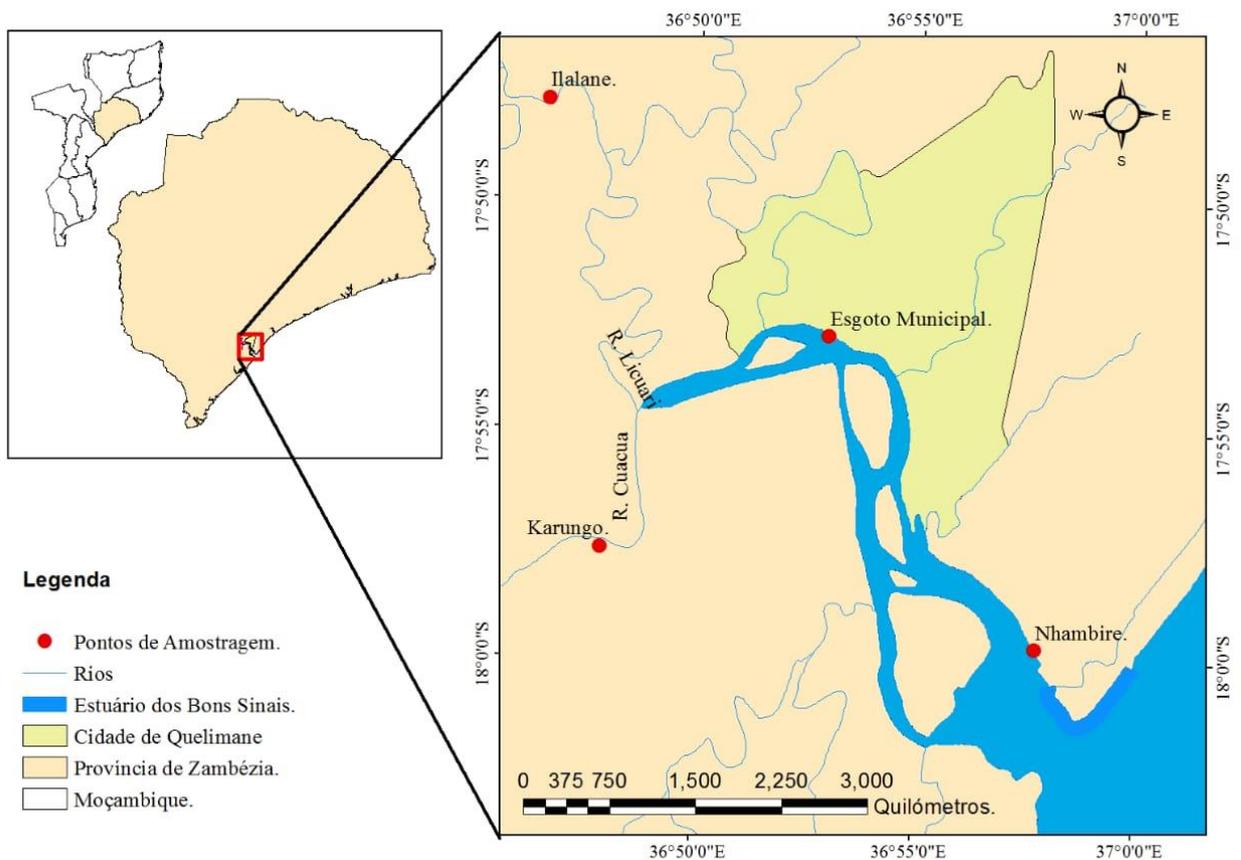


Figura 2: Localização geográfica da área de estudo evidenciando os quatro pontos de amostragem.

3.2. Materiais e equipamentos

- ❖ Barco de 7 m, motor 40 HP para as saídas do campo;
- ❖ GPS IIIPlus para a localização;
- ❖ Amostrador do fundo;
- ❖ Sacos plásticos para conservação das amostras;
- ❖ Máquina fotográfica para registo de imagem durante a colecta das amostras;
- ❖ Almofariz e espátulas para desagregar os sedimentos;
- ❖ Balança analítica;
- ❖ Carbonado de Sódio;
- ❖ Água destilada;
- ❖ Mantas elétricas;
- ❖ Papel filtro;
- ❖ Termómetro;
- ❖ Tubos de ensaio e;
- ❖ Espectrofotómetro UV/Vis “Spectroquant Pharo 300, Merck”.

3.3. Amostragem

Para a realização do presente estudo foi feita uma saída de campo para cada local de colecta das amostras, onde o primeiro local foi no canal dos esgotos municipais na avenida marginal ao longo do estuário, na vazante, o segundo ponto foi a direcção da boca do estuário em Nhambire na enchente, o terceiro ponto foi em Karungo mais para o rio Cuacua na vazante e o ultimo ponto, o quarto ponto foi em Hilalane mais para o rio Licuar na enchente.

Onde em cada local colectou-se três (3) amostras de sedimentos superficiais na margem com o auxílio de um amostrador de fundo (Figura 3), durante a maré viva da baixa ou preia-mar. Os pontos de amostragem foram escolhidos ao longo do estuário dos Bons Sinais considerando a distância do limite da água durante a mare viva e grau variável de interferência humana.

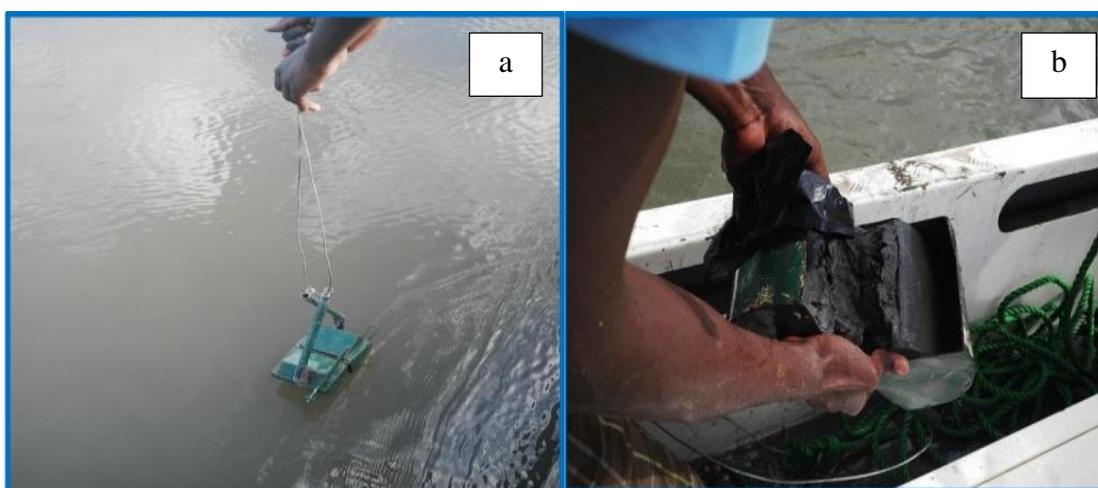


Figura 3: Amostrador do fundo usado para colher amostras, lançamento do amostrador (a) e abertura para recolha das amostras de sedimento (b).

3.4. Tratamento das amostras

As amostras de sedimentos foram armazenadas em sacos plásticos seco, a temperatura ambiente antes de se realizar as análises do laboratório. Todo material do laboratório foi lavado e embebido com água destilada para a limpeza dos recipientes, antes de análise de amostras.

Em seguida removeu-se a água destilada secando os recipientes para garantir que quaisquer vestígios de reagentes de limpeza fossem removidos. Os sedimentos foram secos a temperatura ambiente e desagregados usando almofariz (Figura 4a). De seguida foram peneirados usando papel de filtro, assim obtendo os sedimentos mais finos e armazenados em frascos (Figura 4b) para posterior análise.

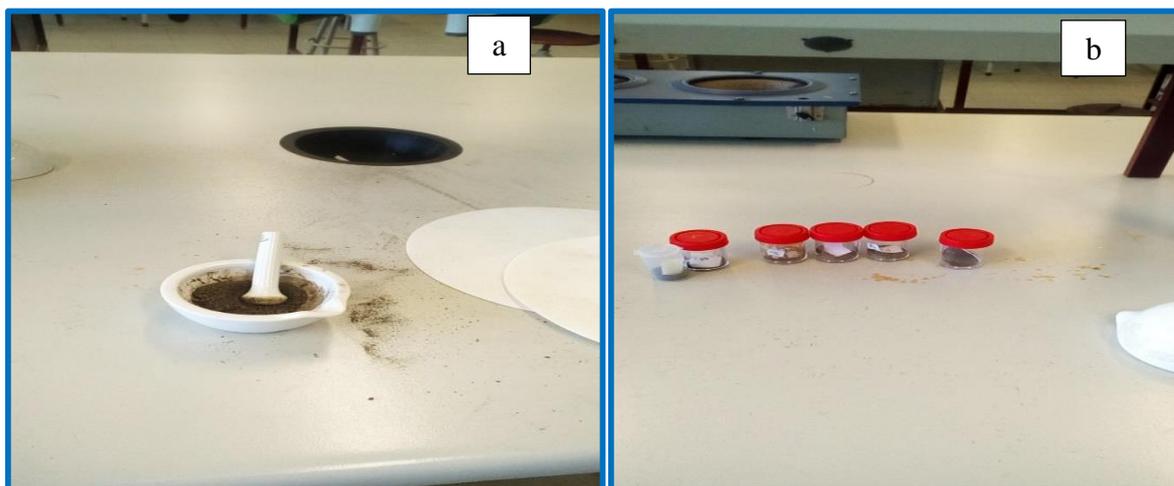


Figura 4: Desagregação dos sedimentos usando almofariz (a) e frascos de sedimentos desagregados (b).

3.5. Análise das amostras

Para a determinação da sílica biogénica, utilizou-se o método descrito por DeMaster (1981) com modificações, que consistiram na lixiviação dos sedimentos com Na_2CO_3 (necessário para dissolver a sílica biogénica) quase em ebulição, para extrair a sílica biogénica. Os procedimentos de análises estão descritos de seguida:

1. Procedeu-se a pesagem de 30 mg de sedimento seco e foram colocados num copo de Becker;
2. Adicionou-se 40 ml de Na_2CO_3 a 1% (pH = 11,2) a amostra em seguida o copo de Becker foi colocado em banho-maria na manta eléctrica a 85°C durante 5 horas (Figura 5a), os copos eram agitados a cada hora até ao final das 5 horas;
3. Depois das 5 horas, deixou-se arrefecer a temperatura ambiente e de seguinte foram filtradas com o papel filtro (Figura 5b).
4. Retirou-se 1 ml de amostra da solução da extração e para análise da DSi.



Figura 5: Manta elétrica com o copo de Becker e termômetro para controle da temperatura (a) e o processo de filtragem das amostras (b).

3.6. Determinação da concentração da sílica

A concentração da sílica em cada amostra foi determinada usando espectrofotômetro UV/Vis “Spectroquant Pharo 300” da marca MERCK, usando o método 171 00857, fazendo a leitura de SiO_2 , no intervalo do comprimento de onda entre 11-1070mg/l.



Figura 6: Espectrofotômetro usado para determinar as concentrações da sílica nos sedimentos.

3.7 Análise e tratamento de dados

Os dados da concentração da sílica biogénica no estuário dos Bons Sinais, foram lançados no programa *Microsoft Office Excel 2013* para processamento. Foram posteriormente submetido a ANOVA unifatorial, para avaliar a existência de diferenças significativas entre os pontos de amostragem. A análise foi feita com dados separados por Zona ou ambiente estuarino (esgoto municipal e Nhambire) e ribeirinha (Karungo e Ilalane). Para comparação das concentrações da sílica biogénica entre os pontos de amostragem foi usado o teste *t* de *Student* de duas amostras com variância desigual, corrido em *excell 2013*.

CAPÍTULO IV

4. Resultados

4.1. Concentração da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente estuarino

A abundância relativa da BSi nos sedimentos estuarinos variou de 172 a 346 mg/l (Figura 7). As concentrações da sílica da resultante da dissolução dos sedimentos do estuário dos Bons Sinais são apresentados na tabela 2. Os valores altos ocorreram principalmente em Nhambire (ponto B), a BSi foi relativamente baixa na zona da avenida marginal no canal do esgoto municipal (ponto A).

As análises estatísticas revelam que não há diferença estaticamente significativa ($p > 0,05$) entre os valores médios das concentrações da sílica biogénica dos pontos A e B.

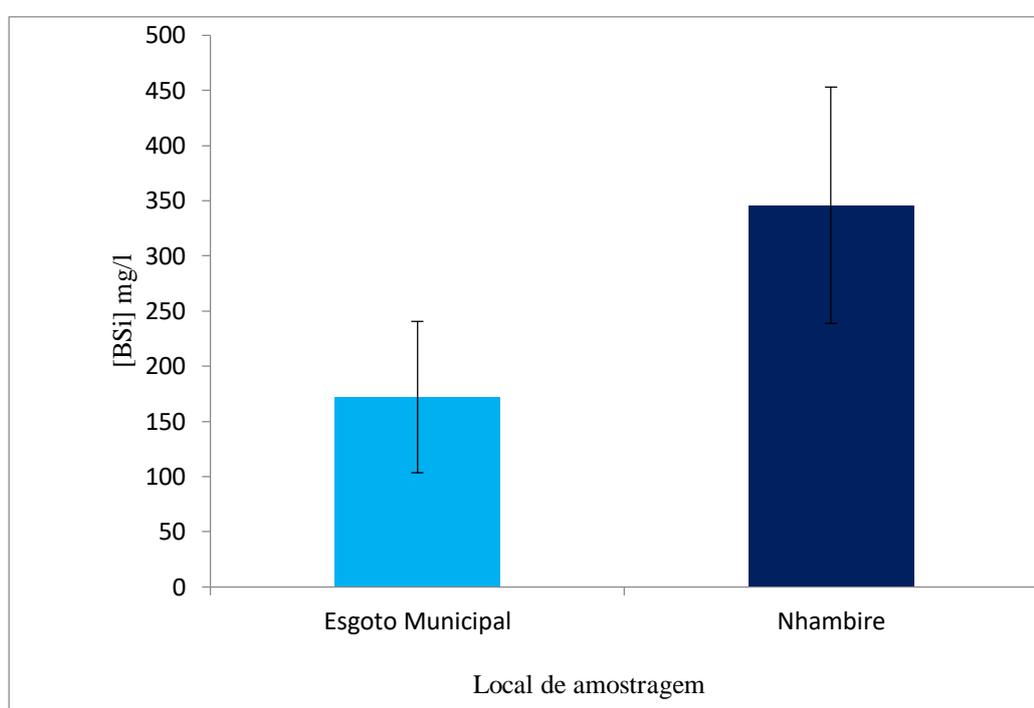


Figura 7: Ilustração da variação da sílica biogénica nos pontos de esgoto municipal e Nhambire.

4.1.1. Concentração da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente ribeirinho

A concentração relativa da BSi nos sedimentos ribeirinho variou de 446 à 464 mg/l (Figura 8). As concentrações da sílica da resultante da dissolução dos sedimentos do ambiente são apresentados na tabela 2. Os valores altos ocorreram principalmente em Ilalane (ponto D), e foi relativamente baixa em Karungo (ponto C).

As análises estatísticas revelam que não há diferença estaticamente significativa ($p > 0,05$) entre os valores médios das concentrações da sílica biogénica dos pontos C e D.

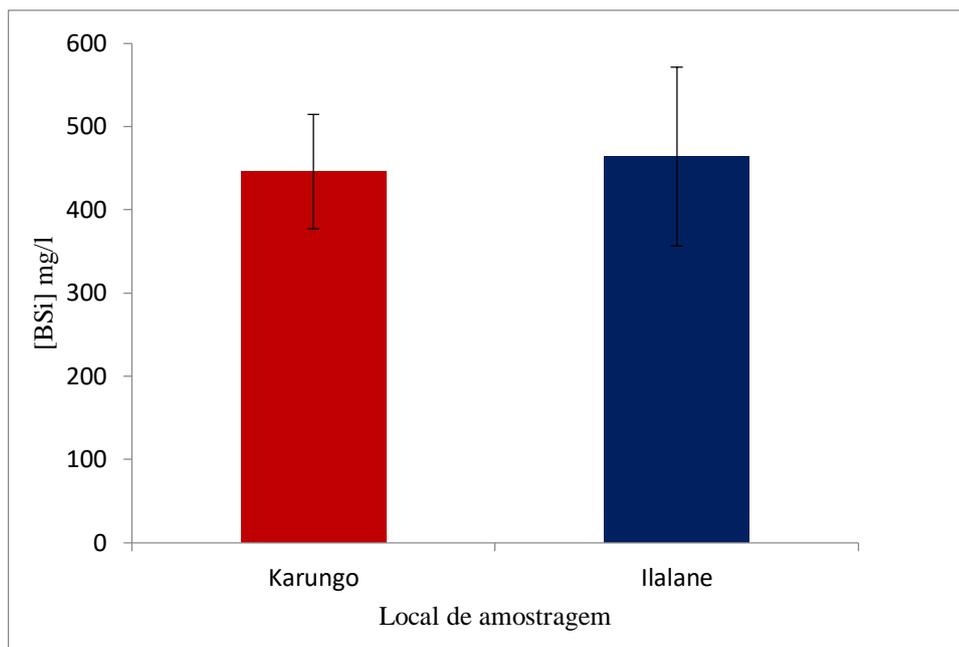


Figura 8: Ilustração da variação da sílica biogénica nos pontos de Karungo e Ilalane.

Os sedimentos do ambiente estuarino apresentaram uma concentração da sílica biogénica de 259,2 mg/l ($\pm 123,2$) que foi menor que a concentração encontrada no ambiente ribeirinho de 471,3 mg/l ($\pm 10,3$), o que resultou em diferenças significativas entre a concentração da sílica biogénica no ambiente estuarino (A) e no ambiente ribeirinho (B) ($t = -2,4$, $P < 0,05$) (Figura 9). Os resultados da análise estatística estão apresentados na tabela 3.

Tabela 1: Teste - t student para duas amostras com variâncias desiguais.

	<i>ZE</i>	<i>ZR</i>
Média	259,15	471,25
Variância	15190,245	105,125
Observações	2	2
Hipótese de diferença de média	0	
Gl	1	
Stat t	-2,425356996	
P (T<=t) uni-caudal	0,124482583	
t crítico uni-caudal	6,313751515	
P (T<=t) bi-caudal	0,248965167	

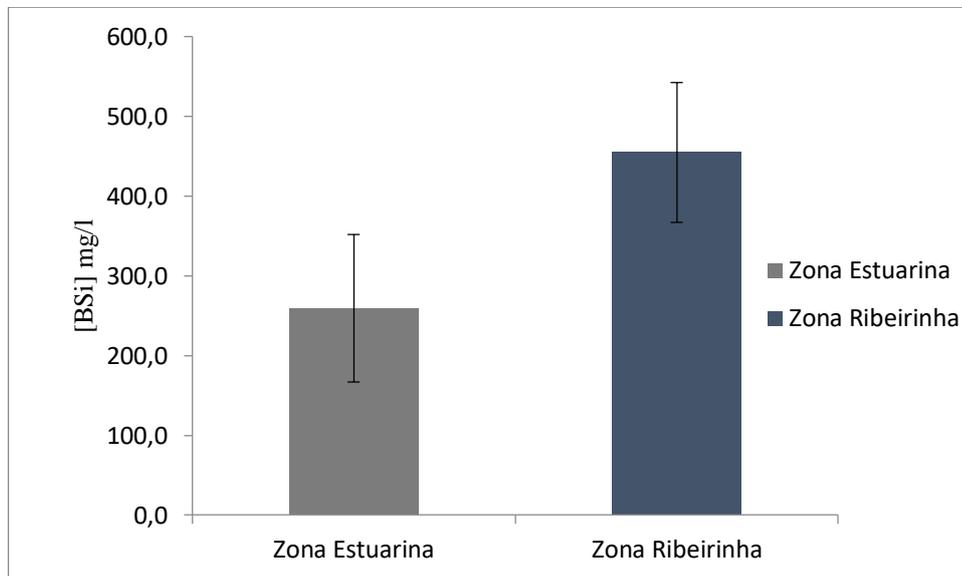


Figura 9: Comparação da concentração da sílica biogénica entre a área estuarina e ribeirinha.

4.2. Discussão

4.2.1. Determinação da concentração da sílica biogénica nos sedimentos do ambiente estuarino

A distribuição das abundâncias de BSi nos sedimentos representa um passo essencial para obter uma melhor compreensão dos factores que controlam a distribuição da matéria biogénica numa bacia hidrográfica (DeMaster, 2002). A distribuição da sílica biogénica no estuário dos Bons Sinais não apresentou uma distribuição linear no sentido da jusante a montante, o ponto de esgoto municipal apresentou uma baixa concentração sendo uma das fontes dos nutrientes no estuário devido a baixa densidade das florestas de mangal e por se encontrar perto do porto que acaba alterando o meio ambiente com as dragagem portuárias, causando danos a biota aquática como as diatomáceas que usam o silício na formação de seu esqueleto que após a sua morte forma a sílica biogénica (Castro e Almeida, 2012). Assim ocasionando pouca quantidade da sílica biogénica em relação a Nhambire que deveria ter menor concentração da sílica em relação a esgoto pois aproxima-se mais do oceano. Ainda, segundo Basto (2014), diz que a concentração da sílica nos oceanos sempre é baixa em relação ao ambiente estuarino e ribeirinho.

Em relação aos pontos da zona ribeirinha, Ilalane apresentou uma alta concentração da sílica biogénica em relação ao ponto de Karungo, sugerindo uma produção significativa da matéria

orgânica, pelo facto da sílica fazer parte dos nutrientes principais no meio marinho, pois participa da constituição dos organismos que são a base da cadeia alimentar - produtores primários (Sarmiento e Gruber, 2006). Os relativamente valores baixos de BSi no ponto de Karungo podem ser atribuídos a processos de remoção tais como ressuspensão, dissolução e transformação, absorção rápida de DSi por plantas de mangal ou maior atividade microbiana que facilita a mobilização de sílica biogénica (Raven, 2003). De acordo com Nazare *et al.* (2017), a cobertura vegetal do mangal nesta área é maior que nas áreas de esgoto e Nhambire que são mais próximas dos assentamentos populacionais e sofrem corte da vegetação.

4.2.2. Comparação das concentrações da sílica biogénica dos sedimentos entre o ambiente estuarino com o ambiente ribeirinho

A concentração da sílica biogénica encontrada nos sedimentos estuarinos corresponde aproximadamente ou igual à 55% da concentração encontrada nos sedimentos ribeirinhos. Pelo facto da zona estuarina sofrer muita influência antropogénica como por exemplo o desmatamento das florestas de mangal na sua costa, construções que resulta na diminuição dos nutrientes no estuário.

Na zona estuarina (ZE) e zona ribeirinha (ZR), os valores da concentração da BSi contida nos sedimentos foram de 259,15 mg/l e 471,25mg/l respectivamente, em termos de *teste-t* aplicado, existe diferença significativa da BSi contida nos sedimentos do Estuário dos Bons Sinais. As diatomáceas desenvolvem-se em ambos ambientes mas exibem dinâmicas diferentes da sílica, tanto no tempo assim como extensão do consumo da DSi diferem.

As baixas concentrações da ZE e altas concentrações para a ZR podem ser explicado por tempo de residência mais longo para a ZE e pouco tempo de residência para a ZR tendo de 50 à 70 dias e 5 à 16 dias respectivamente, as concentrações mais baixas da SPM (matéria particulada suspensa) induzindo uma melhor disponibilidade da luz especialmente em salinidades superiores a 20 ppm (Carbonnel *et al.*, 2013). Segundo Basto, (2014), a ZR é responsável por aproximadamente 80% do aporte da sílica biogénica nos oceanos. Portanto, a absorção biológica de DSi e transformação na BSi durante o crescimento da diatomácea é um fator importante modificando a forma de Silício transportada nos rios.

A maior fracção da BSi produzida pelas diatomáceas nos rios se dissolve em estuário e nos oceanos, pois o sal aumenta a taxa de dissolução de diatomáceas. Entretanto, alguma fracção de diatomáceas de água doce transportadas pelos rios é enterrada em sedimentos estuarinos e marinhos (Conley, 1997).

CAPÍTULO V

5. Conclusão e Recomendações

5.1. Conclusão

Com base nos resultados obtidos e com a discussão feita ao longo do trabalho, tirou-se as seguintes conclusões:

- ❖ As concentrações da sílica biogénica no ambiente ribeirinho foram de 471,25 mg/l e no ambiente estuarino foram de 259 mg/l;
- ❖ O ambiente ribeirinho apresentou maiores concentrações da sílica biogénica em relação as concentrações da sílica biogénica no ambiente estuarino;
- ❖ Os resultados deste estudo sugerem que as acções antropogénicas contribuem significativamente na distribuição e abundância da sílica biogénica nos sedimentos numa bacia hidrográfica.

5.2. Recomendações

De acordo as nuances deste estudo, recomenda-se:

- ❖ Um estudo de paleoproductividade do estuário dos Bons Sinais usando a sílica biogénica como indicador.

CAPÍTULO VI

6. Referências Bibliográficas

- ❖ Aminot, A. & Chaussepied, M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Cnexo. Brest. 395p;
- ❖ Augusto, A. A. (2014). Formas de sílica em águas fluviais e estuarinas da baía de Guanabara, RJ. Instituto de Química. Universidade Federal Fluminense, Niterói;
- ❖ Basto, A. T. C. C. (2014). Estudo do ciclo biogeoquímico do Silício em diferentes sistemas marinhos como ferramenta para identificação de alterações ambientais de origem natural e /ou antrópica. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo;
- ❖ Barbosa, F., C. Cuambe, and S. Bandeira (2001), Status and distribution of mangroves in Mozambique, S. Afr. J. Bot., 67, 393–398;
- ❖ Castro, S. M.; Almeida, J. R. (2012). Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: Uma revisão. Soc. & Nat., Uberlândia, ano 24 n. 3, 519-534;
- ❖ Canche, F. S. (2017). Avaliar a Matéria Orgânica no Solo da Área de Reflorestamento e de Ocorrência Natural do Mangal em Icidua, ao longo do Estuário dos Bons Sinais-Província da Zâmbézia. Tese de Licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane;
- ❖ Cato, Ingemar (1980). Chemistry and Biogeochemistry of estuaries. New York:John Wiley & Sons Ltd. cap. 7, p. 235-243;
- ❖ Carbonnel, V.; vanderborcht; Chou, L. (2013). Silica Mass-Balance and Retention in the Riverine and Estuarine Scheldt Tidal System (Belgium/ The Netherlands);
- ❖ Chichava, S. (2017) Estudo de Minerais Presentes nos Sedimentos Superficiais do Fundo do Estuário dos Bons Sinais, Quelimane – Província da Zâmbézia. Tese de Licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane. 09 -14;
- ❖ Conley, D.J. (1997). Riverine contribution of biogenic silica to the oceanic silica budget. Limnology and Oceanography 42(4), 774-777;
- ❖ DeMaster, D.J. (1981). The supply and accumulation of silica in the marine environment. Geochim. Cosmochim. Acta 45, 1715 – 1732;
- ❖ DeMaster, D.J. (2002). The accumulation and cycling of biogenic silica in the Southern Ocean: revisiting the marine silica budget. Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr. 49, 3155–3167;
- ❖ Derry, L.A., Kurtz, A.C., Ziegler, K., Chadwick, O.A., (2005). Biological control of terrestrial silica cycling and export fluxes to watersheds. Nature 433, 728–731.;
- ❖ Dhame, S., Kumar, A., Ramanathan, AL., & Chaudhari, P. (2016). Elemental composition, distribution and control of biogenic silica in the anthropogenically disturbed and pristine zone

- inter-tidal sediments of Indian Sundarbans mangrove-estuarine complex. *Journal Marine Pollution Bulletin* 111 (2016) 68–85;
- ❖ Jesus, E.T. D. (2013). Distribuição e fracionamento de fosforo em sedimentos de manguezais no estuário do rio da ilha do Maranhão na região de Amazônia;
 - ❖ Eschrique, S. A. (2007). Hidrogeoquímica do fosforo no estuário do Jaguaribe (CE). Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE. 100p;
 - ❖ Eschrique, S. A. (2011). Estudo do Balanço Biogeoquímico dos Nutrientes Dissolvidos Principais como Indicador da Influência Antrópica em Sistemas Estuarinos do Nordeste e Sudeste do Brasil. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo;
 - ❖ IBAP, 2007. Estratégia Nacional para as Áreas Protegidas e a Conservação da Biodiversidade Na Guiné-Bissau (2007-2011). República da Guiné Bissau;
 - ❖ Leli, I. T., Stevaux, J. C., & Nóbrega, M. T (2010). Produção e Transporte da Carga Suspensa Fluvial: Teoria e Método para Rios de Médio Porte. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. Pp. 43–58.
 - ❖ Libânio, M. (2008). Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2d. Campinas: Atomo;
 - ❖ Marzoli, A. (2007). Relatório do inventário florestal nacional. Maputo, Moçambique: Direcção Nacional de Terras e Florestas. Ministério da Agricultura;
 - ❖ Mendes Filho, N. E. (2009). Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes nas águas superficiais e intersticiais no medio estuário do rio Paciência m Iguaiaba-Paço do Lumiar (MA). Tese de doutorado (Doutor em Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa;
 - ❖ Menegale, M. L. C.; Castro, G. S. A.; Mancuso, M. A. C. (2015). Silício: interação com o sistema solo – planta. Embrapa Amapa-Artigo em periódico indexado;
 - ❖ Nazare, P.; Razão, E.; Miguel, A.; Armando, D.; Armazia, R.; Sithole, J.; Filipe, J. (2017). Estado do mangal de Majante, Muarua (Quelimane) e Errecamba (Inhassunge) nos anos de 2002, 2009 e 2017 na Zambézia. *Biofund*;
 - ❖ Rabalais, N.N. (2002). Nitrogen in aquatic ecosystems. *Ambio* 31, 102–112;
 - ❖ Ragueneau, O., Lancelot, C., Egorov, V., Vervlimmeren, J., Cociasu, A., Deliat, G., Krastev, A., Daoud, N., Rousseau, V., Popovitchev, V., Brion, N. (2002). Biogeochemical transformations of inorganic nutrients in the mixing zone between the Danube River and the north-western Black Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 54 (3), 321–336;
 - ❖ Raven, J.A., 2003. Cycling silicon—the role of accumulation in plants. *New Phytol.* 158 (3), 419–421;

- ❖ Sankaran, G., Jothivel, S., Govindasamy, V., & Nateesan, M (2014). Geochemical and Texture Characterization of Minerals in Thondi Coastal Sediments Along the Southeast Coastal of India. *Journal of Oceanography and Marine Science*. 5 (5): 37-44.
- ❖ Sarmiento, J. L.; Gruber, N. (2006). Ocean biogeochemical Dynamics. Princeton University Press. 503p;
- ❖ Silva, Q.D. (2001). Proposta de zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Tibiri, São Luis-MA. Dissertação. Universidade Federal do Ceara, Fortaleza;
- ❖ Smith, V.H. (2006). Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnol. Oceanogr.* 51, 377–384;
- ❖ Timba, I. L (2014). Propagação de Onda de Maré no Estuário dos Bons Sinais. Tese de Licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane, Quelimane;
- ❖ Tallberg, P.; Raike, A.; Lukkari, K.; Leivuori, M.; Heikki, J. L. (2012). Horizontal and vertical distribution of biogenic silica in coastal and profundal sediments of the Gulf of Finland (northeastern Baltic Sea). Boreal Environment Publishing Board;
- ❖ Zang, J., Liu, S., Liu, Y., Ma, Y., Ran, X. (2016). Contribution of phytoliths to total biogenic silica volumes in the tropical rivers of Malaysia and associated implications for the marine biogeochemical cycle. *Chin. J. Oceanol. Limnol.*;