



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
M O N D L A N E

## ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Geologia Marinha

### **Estudo da Paleoprodutividade do Estuário de Macuse durante o Holoceno.**



**Autor:**

Adriano César Muhate



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

## **ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS**

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Geologia Marinha

# **Estudo da Paleoprodutividade do Estuário de Macuse durante o Holoceno.**

**Autor**

Adriano César Muhate

**Supervisora:**

dr<sup>a</sup>. Carlota Alves Emílio

---

Quelimane, Abril de 2019

### **Dedicatória**

Este trabalho é estritamente dedicado a mim mesmo pela força de vontade, persistência e dedicação em adquirir conhecimento para elaboração do presente trabalho de pesquisa também pelo gosto, amor e paixão das Geociências.

*Não se conhece completamente uma ciência enquanto não se souber da sua história*

*Dante Alighieri*

## **Agradecimentos**

Embora o trabalho de monografia seja considerada um trabalho individual perante a avaliação académica, há contributos de natureza profissional e pessoal que não podem deixar de ser referidas, por esta razão desejo agradecer:

Em primeiro lugar a Deus, pelo facto de ser meu cúmplice em cada momento da minha vida e por ter proporcionado protecção, força, saúde e inspiração para que eu pudesse-me formar.

Agradeço de forma profunda e imensurável aos meus pais César Muhate e Carla Chissaque, aos meus tios Arlindo, Luís, Sérgio, Elsa, e minha querida avó Cândida Magalhães, pelo amor, protecção, apoio moral e financeiro durante o período da minha formação.

Agradeço imensamente a minha supervisora dr<sup>a</sup>. Carlota Alves pela compaixão, apoio moral, dedicação e conhecimento científico transmitido durante a elaboração do presente estudo.

À Corpo de docente da ESCMC, em especial a Dr.<sup>a</sup>. Eulália Mugabe pela colaboração para realização das análises das amostras na UEM-Maputo, Dr. Machaieie e Baloi, Msc César, dr Banito, Lopes e Alfandega, pelos conhecimentos científicos, deontológicos e sociais transmitidos durante o período da minha formação. Bem como à CTA da ESCMC, em especial a Dona Maymuna, Arcelia, Bauque, Sr. Abel e Salvador.

Agradeço aos meus professores do ensino médio dra: Juvelina Zevo, Graça Mabunda, Amílcar Mavie, Armando Wamusse, Elzeth da Gloria, André Estoquiço e Rodrigues Almeida, pelo apoio moral durante aquela fase da formação.

Agradeço aos amigos e colegas da turma de Geologia Marinha do ano 2015, em especial ao Luís, Geraldo, André pela amizade, cumplicidade e conhecimento transmitido durante a formação. A todos da turma de Oceanografia Química, especialmente ao António Matusse, Carlota Covane, Luísa Mbaze e Leovistonia Cumbi, e Biologia marinha do ano 2015, especialmente ao Abdul, pelo apoio e amizade.

Agradeço de forma especial ao Dinis Mondlane, Oldim Chuquelane, Adelina Langa, Gerson Vilanculos, Guelton Pedzisai, Elias Cumbane, António Mavie, Gulte, Adérito Cuco, Valter Mondlane e Abel Simarico pela amizade, interacção académica, apoio moral e pelos momentos supere felizes vividos, ao Prudêncio Muchanga pela amizade, motivação e troca de experiência independentemente da distância que nos separa, à minha grande amiga e colega de turma Marlene Massique (Massiquinha) pelo apoio, afecto e carinho.

Aos irmãos da residência feminina e masculina, começando por Adelino Nhaca, Timba, Sodasse, Erasnes, Alberto Sibie, Tembé, Evandro, Adilson Serete, Aníbal Açucarado, Salmos, Esperado, David, Valentim, Basílio, Justino, João, Adolfo, Elias, Tarcio, Amos, Ersilio, Wilbert, Ricardo, Júlio, Dinis, Francisco, Belisário, Sara Marina, Alcinda, Gláucia, Cacilda, Mirena, Balbina Siteo, Célia e Yula.

Agradeço a todos que não foram mencionados, que de certa forma colaboram, até mesmo com palavras simples de moral e conforto.

**Declaração de honra**

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

(Assinatura)

---

(Adriano César Muhate)

### Resumo

A presente pesquisa teve como objectivo principal compreender as variações da paleoprodutividade no estuário de Macuse, num passado geológico recente (holoceno), através da descrição de: carbono orgânico, conteúdo carbonato de cálcio, origem da matéria orgânica bem como a granulometria dos sedimentos. Dois testemunhos foram colectados ao longo do canal estuarino, as amostras foram submetidas a análises geoquímicas e granulométricas no Laboratório. As análises granulométricas foram efectuadas mediante ao método de sedimentação baseada na lei Stock, para o carbono orgânico foram usados os métodos de Walkey e Black, o nitrogénio total foi determinado a partir do método de Kjeldahl e por fim, o carbonato de cálcio a sua determinação foi baseada nas diferenças de pesos das amostras antes e depois da reacção com ácido clorídrico.

Obteve-se em geral valores de carbono orgânico que variam de 0.53 até 2.1%, nos dois pontos de amostragem, quanto a granulometria, das três classes obtidas (silte, argila e areia) o silte foi mais representativo em todos os pontos. Os valores da razão Corg/Ntotal rondaram entorno de 3.9 a 23% com maior destaque para valores superiores a 10, considerando desse modo uma mistura de matéria orgânica de origem continental e marinha evidenciando que o estuário tem recebido na sua maioria matéria orgânica de origem continental evidenciado pelos maiores valores da razão Corg/Ntotal, os valores de CaCO<sub>3</sub> flutuaram de 2.2 a 6.0%. Os resultados das análises mostram evidências de variações na paleoprodutividade com períodos mais produtivos caracterizados por elevados valores de carbono orgânico, carbonato de cálcio, sedimentos finos de classe silte e argila. Existe uma relação positiva moderada entre silte e carbono orgânico que sugere haver uma dependência de silte na preservação de carbono orgânico.

**Palavras-chaves:** Paleoprodutividade; Carbono orgânico; Estuário de Macuse.

**Abstract**

The present research had as main objective to understand the variations of the paleoproductivity in the Macuse estuary, in a recent geological past (Holocene), through the description of: organic carbon, calcium carbonate content, origin of organic matter as well as sediment granulometry. Two testemunhos were collected along the estuarine channel, the samples were submitted to geochemical and granulometric analyzes in the Laboratory. The granulometric analyzes were carried out by means of the Stock-based sedimentation method. For organic carbon, Walkey and Black methods were used, total nitrogen was determined from the Kjeldahl method and, finally, calcium carbonate was determined based on the weight differences of the samples before and after the reaction with hydrochloric acid.

In general, values of organic carbon ranging from 0.53 to 2.1% were obtained, at the two sampling points, for the grain size, of the three classes obtained (silt, clay and sand), the silt was more representative at all points. The values of the Corg / Ntotal ratio ranged from 3.9 to 23%, with higher values being higher than 10, thus considering a mixture of organic matter of continental and marine origin, evidencing that the estuary has received mainly organic matter of continental origin evidenced by the higher values of the Corg / Ntotal ratio, the CaCO<sub>3</sub> values fluctuated from 2.2 to 6.0%. The results of the analyzes show evidence of variations in paleoproductivity with more productive periods characterized by high values of organic carbon, calcium carbonate, sediments of silt class and clay. There is a moderate positive relationship between silt and organic carbon, which suggests a dependence on silt in the preservation of organic carbon.

**Key-words:** Paleoproductivity; organic carbon; Macuse Estuary.

**Tabela de abreviaturas**

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Porcentagem
°C	Grau celsius
EM1	Estuário de Macuse no primeiro ponto.
EM2	Estuário de Macuse no segundo ponto
Cm	Centímetros
ESCMC	Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras
G	Gramas
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H	Hora
Km	Quilómetro
M	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
PVC	Policloreto de Vinil
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
MO	Matéria orgânica
C <sub>org</sub>	Carbono orgânico
N <sub>total</sub>	Nitrogénio total

## **Lista de Figuras**

Figura 1: Domínio relativo do rio, das ondas e da maré e a sua relação com a morfologia dos estuários, Fonte (Skilbeck, <i>et al.</i> , 2017). .....	6
Figura 2: Modelo esquemático da ciclagem da matéria orgânica em um sistema marinho, onde R significa reciclagem do material (Modificado de Pinet, 1992) , Fonte: (Michelle, 2008). .....	9
Figura 3: Valores de Corg/Ntotal em diferentes matérias. Fonte (Meyers, 1997) .....	11
Figura 5: Localização da área de estudo, Fonte: Google Earth .....	13
Figura 5: Pontos de amostragem EM1 e EM2. Fonte: Autor .....	14
Figura 6: Imagem a) ilustra a retirada do testemunho e b) o processo de divisão em duas secções. ....	15
Figura 7: A primeira imagem c) mostra o testemunho já dividido em duas partes e a segunda d) tem-se as amostras a serem secadas na estufa. ....	15
Figura 8: Pesagem das amostras na imagem e) e provetas contendo as amostras de sedimentos imagem d) .....	17
Figura 9: Observava-se na imagem (f) processo de filtração e o material usado na titulação na imagem (g). ....	21
Figura 10: Curva da variação da concentração de Carbono orgânico do ponto EM1 (a) e EM2 (b). ....	24
Figura 11: Curva da variação do ponto EM1 (a) e EM2 (b) do conteúdo de matéria orgânica. ....	25
Figura 12: Curva da variação da razão entre carbono orgânico e nitrogênio total (Razão Corg/Ntotal) .....	26
Figura 13: Variação de Conteúdo de carbonato de cálcio ao longo da profundidade nos dois pontos de amostragem EM1 c) e EM2 d). ....	27
Figura 14: Variação da concentração do Silte, Argila e Areia ao longo do testemunho EM1. ....	29
Figura 15: Variação da concentração do Silte, Argila e Areia ao longo do testemunho EM2. ....	30
Figura 16: Curvas de variação de carbono orgânico, silte, argila e areia em função da profundidade no ponto EM1. ....	33
Figure 17: Curvas de variação de carbono orgânico, silte, argila e areia em função da profundidade no ponto EM2. ....	34

**Lista de Tabelas**

Tabela 1: Localização geográfica e profundidade de colecta dos testemunhos. ....14

Tabela 2: : Parâmetros e correlação de Pearson no EM2. ....31

Tabela 3: Paramentos e correlação de Pearson EM1.....31

Tabela 4: Classificação da correlação em função do coeficiente de Pearson (r). Adaptado: (Fernandes, 1999) ...49

<b>Sumário</b>	<b>Paginas</b>
Dedicatória .....	i
Agradecimentos.....	ii
Declaração de honra .....	iv
Resumo.....	v
Abstract .....	vi
Tabela de abreviaturas.....	vii
Lista de Figuras .....	viii
1. Introdução .....	1
1.1. Problematização.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.2. Justificativa.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
1.3. Objectivos.....	3
2. Revisão da Literatura .....	4
2.1. Estuário.....	4
2.1.1. Classificação dos Estuários.....	4
2.1.1.1. Estuário dominado por ondas. ....	4
2.1.1.2. Estuário dominado por maré.....	5
2.1.1.3. Estuário dominado por onda e pela maré.. ....	5
2.1.2. Granulometria dos sedimentos estuarino.....	6

2.1.2.1. Análises da granulometria.....	6
2.2. Estudos da Paleoprodutividade.....	7
2.2.1. Matéria orgânica.....	8
2.2.2. Origem da matéria orgânica.....	10
2.2.3. Carbonato de cálcio.....	11
3. Metodologia.....	13
3.1. Área de estudo.....	13
3.2. Métodos.....	13
3.2.2. Procedimento Laboratorial.....	15
3.2.2.1. Análise granulometria.....	16
3.2.2.2. Determinação de Matéria orgânica.....	17
3.2.2.3. Determinação de nitrogénio total.....	19
3.2.2.4. Quantificação de carbonato de cálcio.....	217
3.2.3. Tratamento dos dados.....	22
3.2.3.1. Análises estatísticas.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4. Resultados.....	24
4.1. Quantificação do Carbono orgânico.....	24
4.2. Conteúdo de matéria orgânica.....	25
4.3. Identificação da origem da matéria orgânica.....	26

4.4. Carbonato de cálcio.....	27
4.5. Granulometria dos sedimentos.....	27
4.6. Correlação do Carbono orgânico com a Granulometria dos sedimentos.....	31
5. Discussão .....	35
5.1. Carbono orgânico ao longo da profundidade. ....	35
5.2. Fonte de matéria orgânica ao longo da profundidade.....	36
5.3. Conteúdo de carbonato de cálcio.....	39
5.4. Correlação entre a granulometria dos sedimentos e os níveis d carbono orgânico. ....	39
6. Conclusão.....	38
7. Recomendações.....	42
8. Bibliografia .....	43
9. Anexo.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

### 1. Introdução

O estudo da evolução dos ambientes marinhos ao longo do tempo Geológico tem sido uma das principais linhas de investigação na área de Geociências na actualidade.

Através da reconstituição paleoambiental tem-se evidenciado significativas mudanças em ambientes marinhos. Algumas evidências das alterações desses ambientes podem ser obtidas com base na reconstituição da produtividade biológica (paleoprodutividade).

No contexto de estudos relacionados a mudanças globais, reconstituições de paleoprodutividade e o entendimento dos mecanismos responsáveis pela sua mudança são indispensáveis.

A paleoprodutividade é um mecanismo chave da participação do carbono no oceano, que tem influência nas mudanças de concentrações de dióxido de carbono atmosférico (Dymond, 1992 e Andrade, (2011), tem uma grande relação com a vida marinha ao longo do tempo geológico (Michelle, 2008).

O carbono inorgânico contido no dióxido de carbono é convertido pela fotossíntese em carbono orgânico Pinet (2009), que poderá ser preservado nos sedimentos actuais e pretéritos.

De acordo com Michelle (2008), a produtividade primária, processos redox sensíveis e a taxa de sedimentação assim como o tamanho dos sedimentos depositado, são factores importantes na natureza quantitativa e qualitativa do carbono orgânico preservado.

A relação entre o fluxo de carbono orgânico e mudanças climáticas pode ser entendida na íntegra, a partir de vários métodos desenvolvidos para quantificar os aspectos da produção primária e o destino do carbono orgânico que chega a fundo marinho (Andrade, 2011).

Em alguns ambientes marinhos como estuários, são comumente preservados sequências de sedimentos do holoceno, oferecendo a oportunidade de investigar o clima do passado, a paleoprodutividade assim como mais alterações ambientais (Lamb, Wilson, e Leng 2006), podendo permitir a projecção de alterações futuras.

Nos estuários a variabilidade espaço-temporal é condicionada pela interação de vários processos, desta forma é incontornável uma múltipla abordagem Kathryn *et al.*, (2017).

Nos últimos tempos vários métodos (*proxies*) tem sido explorados na reconstrução paleoambiental em especial a paleoprodutividade marinha, sendo que cada tem suas limitações, desta forma Robert e Gisela (2005) sugeriram a combinação de vários *proxies* com vista a melhorar a fiabilidade dos resultados.

Paytan e Griffith (2007), destacam o uso do fósforo reactivo, carbonato de cálcio e opala biogénica, matéria orgânica, assembleias de microfósseis, isótopos de carbono e de carbonatos, Barrita marinha (BaSO<sub>4</sub>), bio marcadores orgânicos e vários indicadores geoquímicos como razões entre: alumínio e titânio, (Al/Ti), bário e titânio (Ba/Ti), paládio e tório (<sup>231</sup>Pa/<sup>230</sup>Th), berílio e tório (<sup>10</sup>Be/<sup>230</sup>Th), selénio e cálcio (Sr/Ca) como métodos aplicáveis para reconstruir a produção primária.

Na escolha desses *proxies*, a que considerar alguns aspectos ligados a: i) ampla distribuição batimétrica, e ii) facilidade de preparo ou análises.

Estudos extensivos de paleoambientes são relativamente comuns e bem documentados em diversas partes do mundo, entre estes: Alejandra *et al* (2011) na bacia dos Santos em Brasil; Andrade (2011) na plataforma continental interna de Itaiju, no Brasil, (Yang *et al.*, 2010) na China e Hiner *et al.*, (2016) nos Estados Unidos de América.

Em África também existem literaturas focadas nas mudanças do ambiente marinho a destacar o trabalho realizado por Strachan *et al.*, (2013) que procuraram entender as variações do nível do mar no estuário de Rio Kariéga, África do Sul, e na costa de Moçambique, Norström, *et al.*, (2012) estudaram as mudanças do nível do mar na Baía de Macassa em Inhambane.

Especificamente no estuário de Macuse são relativamente poucos estudos relacionados com o paleoambiente, sendo que este é um ambiente costeiro de transição que nela há ocorrência de vários processos geológicos, geomorfológicos e oceanográficos (Miguel, Nehama, & Castro, 2017), e as

combinações únicas de marés, ondas e regimes de vento com as correntes oceânicas, criam um ambiente físico e químico dinâmico que pode resultar em alterações na produtividade biológica.

No estuário em estudo tem se realizados várias pesquisas devido a sua importância socioeconómica e científica para o país, mas a maior parte desses estudos envolvem apenas os tempos atuais não no passado ou a sua evolução paleoceanográfica que é pertinente na compreensão do presente e na perspectiva do futuro. Nesta perspectiva, objectiva-se através do presente estudo conhecer as mudanças ocorridas na produtividade primária durante o holoceno visando contribuir de forma significativa na geração do conhecimento científico em Geologia e Paleocanografico do estuário.

### **1.1.Objectivos**

#### **Geral**

- Conhecer a evolução da paleoprodutividade do estuário de Macuse durante o Holoceno.

#### **Específicos**

- Determinar a granulometria dos sedimentos ao longo da profundidade;
- Quantificar a matéria orgânica e Identificar a sua origem ao longo da profundidade;
- Quantificar as concentrações de carbono orgânico ao longo da profundidade;
- Quantificar as concentrações de conteúdo de carbonato ao longo da profundidade e
- Relacionar a granulometria dos sedimentos com carbono orgânico.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Estuário

A definição mais popularmente usada de um estuário é a de Pritchard (1967): “um estuário é uma massa de água costeira semifechada, que tem uma conexão livre com o mar aberto, e dentro da qual a água do mar é mensuravelmente diluída com água doce derivado da drenagem da terra” (Elliott e Quintino, 2007).

Não obstante o Fairbridge (1980) admite que o estuário pode ser divisível em três sectores:

*i)* Estuário marinho ou inferior, em livre ligação com o mar aberto; *ii)* Estuário do meio ou médio sujeito a forte mistura de sal e água doce; e *iii)* Estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à acção forte das marés (Elliott e Quintino, 2007).

#### 2.1.1. Classificação dos Estuários.

A classificação estuarina fornece uma estrutura útil para agrupar fatores e características que impactam na sua ecologia e preservação do registro paleoecológico.

##### *i)* Estuário dominado por ondas.

Os estuários dominados pelas ondas são formados em costas de micro marés altamente energéticas, onde os regimes de ondas oceânicas trazem constante areia em direcção à costa (Peter Scanes, 2017).

A configuração de entrada de um estuário dominado por ondas é geralmente um pouco restrita, com bancos de areia móveis, no estuário inferior e atenuação moderada das marés ao longo do comprimento do estuário (Peter Scanes, 2017).

Nesse estuário dominado por ondas, a influência das marés é pequena, e a foz do estuário experimenta alta energia das ondas, as condições hidrológicas podem variar de misturado a bem estratificado (Boggs, 1987).

Os sedimentos tendem a mover-se ao longo da costa e em terra a foz do estuário, onde uma barreira subaérea ou submersa, impede que a maior parte da energia das ondas entre no estuário, assim, somente ondas geradas internamente estão presentes (Boggs, 1987).

### ii) Estuário dominado por maré.

Nos estuários situados nas costas dominadas pelas marés, a foz do estuário permanece aberta e, dependendo da faixa de maré o sedimento de carga de leito fornecido pelo rio é amplamente retrabalhado, areias longitudinais, lençóis de areia e fundos de maré lamacentos (Peter Scanes, 2017).

O depósito é geralmente em forma de funil, com o fundo coberto por areia e cascalhos. Os sedimentos de grão fino são proeminentes ao longo da periferia do estuário na zona inter-maré, subjacentes às florestas de mangal e planícies de maré, e também são concentrados onde há uma mistura de água salgada doce (Kathryn *et al.*, 2017).

Estuários dominados por maré ocorrem principalmente em costas macromares onde a energia da corrente de maré excede a energia das ondas na boca da estação, água é comumente bem misturada. Barras de areia alongadas desenvolvem-se paralelamente, (Boggs, 1987).

### iii) Estuário dominado por onda e pela maré.

Muitos estuários têm características intermediárias, entre as do tipos dominados por ondas e maré. Como a energia das marés aumenta a energia das ondas, o sistema de barreira dos estuários dominados pelas ondas torna-se agressivamente mais dissecadas por enseadas de maré e barras de areia alongadas desenvolvem-se no local anteriormente ocupadas por segmentos de barreira e a margem de canal barras de deltas de maré baixa. (Boggs, 1987).

A areia derivada da marinha é transportada a maiores distâncias do estuário, e a bacia central geralmente lamacenta é substituída pela arenosa (Boggs, 1987).

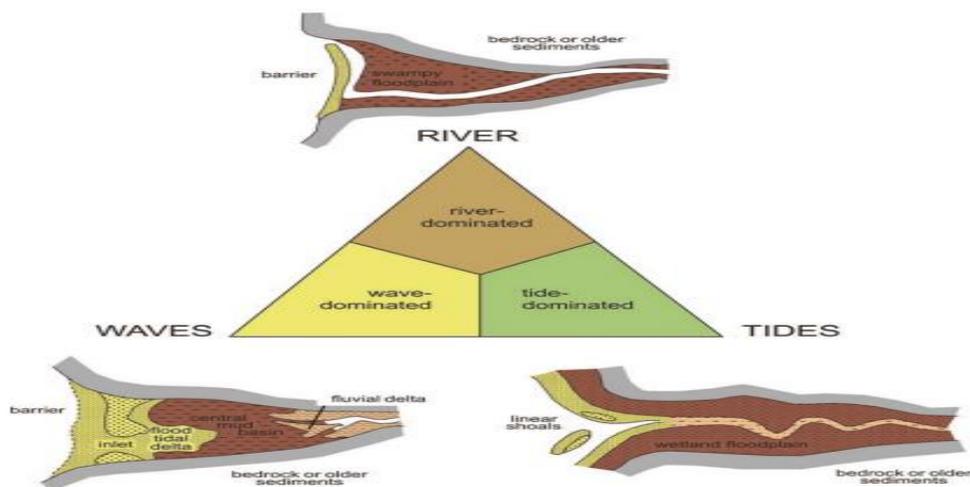


Figura 1: Domínio relativo do rio, das ondas e da maré e a sua relação com a morfologia dos estuários, Fonte (Skilbeck, *et al.*, 2017).

### 2.1.2 Sedimentos estuarino.

Os rios são o principal fornecedor de sedimentos para estuários e mares adjacentes. O transporte e deposição de sedimentos de granulação fina, ribeirinhas em estuários são maioritariamente controlados por três factores: misturas estuarinas, agregação (floculação) e propriedades de partículas primárias (Purnachandra & Parthasara, 2016).

Os sedimentos transportados pelas águas estuarinas abrangem tipicamente uma gama de tamanhos de menos de 2 mm (0,002 m) a mais de 4 mm, mas os tamanhos mais finos dominam a maioria dos estuários (McAnally e Mehta nd).

Um profundo conhecimento da natureza das texturas sedimentares é fundamental para a interpretação de antigos ambientes de posicionais e condições do transporte (Boggs, 1987), fornecendo assim informações sobre a hidrodinâmica deposicional do ambiente.

Deste modo, por um lado a presença predominante de sedimentos muito finos em ambientes estuarinos aponta o facto de serem locais de baixa energia e por outro a presença de sedimentos grossos aponta o facto de serem locais de alta energia (Ribeiro, 2008).

O teor de carbono orgânico contido nos sedimentos também revela o quão os sedimentos são estáveis. Essa estabilidade é ditada pelo tamanho dos agregados dos sedimentos, onde sedimentos lamosos (silte e argila) são mais estáveis em relação aos sedimentos arenosos.

Deste modo a matéria orgânica tende ser melhor preservada em solos mais estáveis, onde os microagregados têm a capacidade de se cimentar entre si dificultando a erosão e remoção da matéria orgânica. Enquanto os sedimentos grossos (areia) apresentam uma má preservação da matéria orgânica, dado que existe muitos poros os quais permitem a ação microbiana que por sua vez degradam a matéria orgânica, desta forma são menos estáveis e maus preservadores da matéria orgânica (Pillon, Mielniczuk, & Neto, 2002).

### **2.2 Estudos da Paleoprodutividade.**

Para a devida compressão dos estudos de paleoambientes é importante a harmonização de alguns temas como a:

- i) *Proxy* é uma propriedade mensurável de um registro ambiental ou geológico que, por meio de tratamento matemático ou estatístico, pode ser relacionado com uma incerteza declarada a um ou a uma combinação de fatores ambientais físicos, químicos ou biológicos durante sua formação (Hillaire & Vernal, 2007)
- ii) Registro é uma entidade física (sedimentos, gelo, assemblagem de fósseis, minerais químicos ou biogênicos, anéis de crescimento de restos orgânicos, etc.) que tem propriedades preservadas ligadas a condições ambientais passadas com mudança diagenética mínima ou mensurável. (Hillaire e Vernal, 2007).

A sua datação (em relativos ou absolutos) e duração podem fornecer uma série temporal, permitindo a documentação da variabilidade das condições paleoambientais com base em ferramentas estatísticas.

Paleoprodutividade é a reconstituição da produtividade biológica de um meio marinho, é um tema pertinente à paleoceanografia, e desperta interesse especial, uma vez que tem relação com o entendimento da vida marinha ao longo do tempo geológico (Michelle, 2008).

Paleoprodutividade envolve muitos processos, principalmente, com o balanço produção e degradação da matéria orgânica e, ainda, com os ciclos dos elementos biogénicos, em especial, na história do ciclo oceânico do carbono (Michelle, 2008).

Diversos *proxies* têm sido utilizados, de maneira complementar, para melhor delinear a história da produtividade de sistemas marinhos ao longo de um tempo geológico e através da aplicação de diversos marcadores, tais como: carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), excesso de Bário, carbono orgânico (C<sub>org</sub>), razões carbono e nitrogénio C<sub>org</sub>/N<sub>total</sub>, (Moreno *et al.*, 2004).

### **2.2.2 Matéria orgânica.**

A produção fotossintética pelo fitoplâncton em águas superficiais é a fonte dominante de matéria orgânica, na maioria dos sistemas aquáticos, este processo bios sintético usa a energia captada da luz solar por pigmentos fotossensíveis para converter carbono e nutrientes inorgânicos dissolvidos em matéria orgânica (Meyers, 1997).

Esse processo pode ser resumido pela equação proposta pelo Reded (1942).



1

A produção de matéria orgânica em um sistema marinho está intimamente ligada à disponibilidade de nutrientes (Nixon, 1997), porem outros fatores podem limitar este processo, como as concentrações de oxigénio dissolvido, condições de ressurgência, turbulência e ainda turbidez da água (Pinet, 2009).

A acumulação de matéria orgânica nos sedimentos estuarinos é controlada por vários factores, fontes matéria orgânica, taxa de deposição de sedimentos, potencial de preservação, taxa de

decomposição de materiais orgânicos durante o transporte, sepultamento e diagênese pós-deposicional (Yang, et al., 2010).

Entre estes, a fonte de matéria orgânica tem sido sugerida para exercer o controle dominante.

Uma vez depositada, a matéria orgânica sofre decomposição por várias comunidades microbianas, dependendo da taxa de fornecimento de receptores de elétron ( $O_2$ ,  $NO_3^-$ , Fe,  $SO_4$ ) através do perfil de sedimentos (Scanes e Potts, 2017).

O enterramento da matéria orgânica desempenha um papel crucial no controle das concentrações do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ) atmosférico, a uma escala de tempo muito longa, este carbono circula e ao longo do tempo em forma de rochas, carvão e depósito de petróleo Meyers (1997).

E o enterro de MO em sedimentos pode ser determinado em termos do equilíbrio entre a produção primária e a respiração na terra e nos ambientes marinhos (Burdige, 2007).

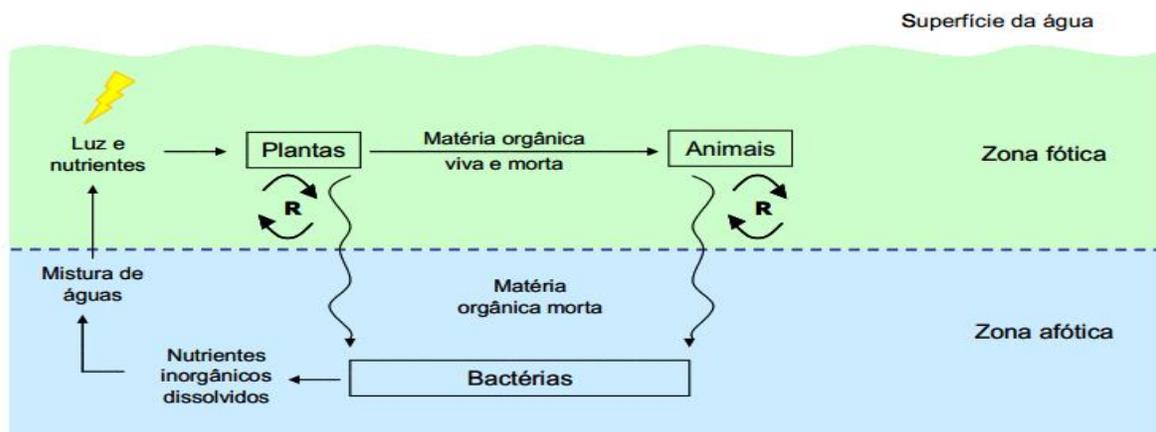


Figura 2: Modelo esquemático da ciclagem da matéria orgânica em um sistema marinho, onde R significa reciclagem do material (Modificado de Pinet, 1992), Fonte: (Michelle, 2008).

A preservação de matéria orgânica em perfis de sedimentos depende de fatores como labilidade, taxa de deposição, perturbação por ressuspensão, e bio turbação (Scanes *et al.*, 2017), em maior

parte do tempo, é determinado pelo equilíbrio entre a produção de matéria orgânica (autotrofia) e consumo (heterotrófico) em todas as zonas funcionais (Scanes *et al.*, 2017).

Nos estuários a fonte principal da matéria orgânica é alóctone (derivados de outros locais) e autóctone (produzida na própria bacia). A sua acumulação em sedimentos estuarinos é fortemente dependente da quantidade em argila depositada devido ao processo de adsorção (Oliveira *et al.*, 2014).

A matéria orgânica alóctone pode ser amplamente definida como produção pelágica (fitoplantonica) e produção bentônica (microalgas bentônicas, macroalgas e ervas marinhas (Scanes *et al.*, 2017).

A deposição e remineralização de matéria orgânica em sedimentos são fatores chaves determinantes do registro paleoecológico uma vez depositada a matéria orgânica sofre decomposição por várias comunidades microbianas Scanes *et al.*, (2017), contudo o ciclo biogeoquímico global da matéria orgânica depende da remineralização (Burdige, 2007).

Como componente biológico dominante da produtividade primária no ambiente marinho, as medições de teor de carbono nos sedimentos são fundamentais na sua reconstituição, pois existe uma relação entre o fluxo da matéria orgânica para o fundo marinho e produtividade existente (Francois, 2008).

### **2.2.3 Origem da matéria orgânica.**

Em estudo relacionados a paleoprodutividade, com recurso a matéria orgânica, o conhecimento das suas características constitui um factor importante a se considerar (Michel, 1998).

Sendo os estuários sistemas deposicionais localizados nas zonas de interação entre-os-rios e o oceano, constituem arquivos sensíveis quer às influências terrestres como às influências marinhas (Santos, 2010).

Assim sendo a matéria orgânica encontrada neste ambiente pode ser de origem terrestre ou marinha daí surge a necessidade de se identificar a fonte do mesmo, a razão ( $C_{org}/N_{total}$ ) baseadas nos dados de carbono orgânico ( $C_{org}$ ) e nitrogénio total ( $N_{total}$ ) permitem fazer inferências sobre a origem da matéria orgânica em sedimentos marinhos (Andrade, 2011). Neste sentido, a razão  $C_{org}/N_{total}$  tem sido usada para distinguir entre matéria orgânica sedimentar cuja origem está associada a plantas

terrestres ou a algas marinhas, pois as algas, geralmente têm razão  $C_{org}/N_{total}$  entre 4 e 10, (figura 4), enquanto plantas vasculares terrestres têm razão  $C_{org}/N_{total}$  maiores ou igual a 10 (Meyers, 1997).

Essa diferença ocorre devido à ausência de celulose em algas (menor quantidade de C) e sua abundância em plantas vasculares, e devido a abundância de proteínas em algas isto, é, maior quantidade de nitrogênio (Nagai, 2009).

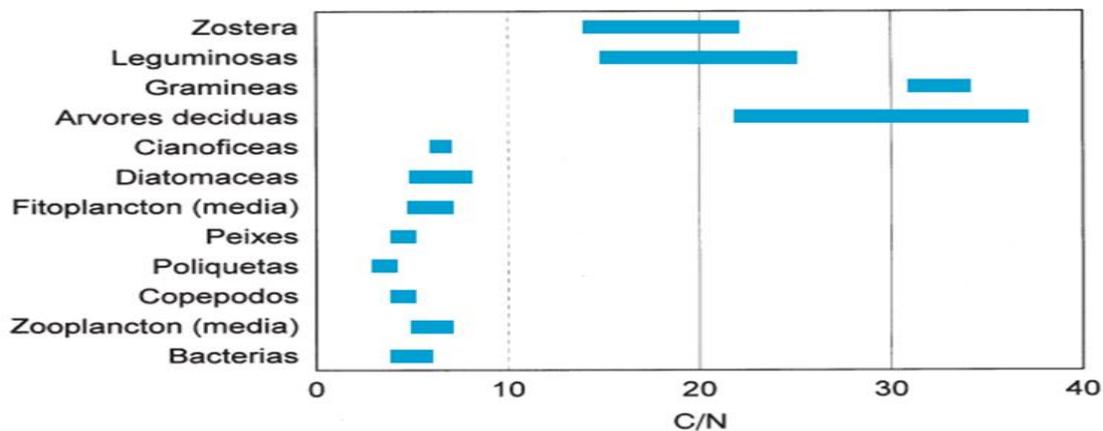


Figura 3: Valores de  $C_{org}/N_{total}$  em diferentes matérias. Fonte (Meyers, 1997)

#### 2.2.4 Carbonato de cálcio.

Em ambientes marinhos umas das fontes de acumulação de carbonato de cálcio são os organismos betônicos, tais como, moluscos, briozoários, algas, equinodermes em que em eles constroem as suas testas na base do cálcio e quando morem essas partes duras fazem parte da composição dos sedimentos (Paytan, 2006).

A maior parte do carbono dos oceanos é transferido para o sedimento através da decantação de esqueletos de carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ), produzido nas águas superficiais. Estes esqueletos de  $CaCO_3$  carregam o sinal da produtividade (Brummer e Van, 1992).

O teor de  $CaCO_3$  nos sedimentos é dependente de processos físicos, químicos e oceanográficos e não apenas da produtividade. O  $CaCO_3$  nos sedimentos marinhos também pode sofrer grandes

alterações diagenéticas (por exemplo, dissolução), modificando assim o sinal original de produtividade (Paytan, 2006).

A intensidade da dissolução do carbonato depende: (1) do estado de saturação da água do mar em relação à calcita e aragonita, (2) do tempo que as partículas de carbonato são expostas a águas do mar (depende da taxa de sedimentação), (3) da quantidade de carbono orgânico soterrado com o carbonato, e (4) da ocorrência de revestimento orgânico nas partículas de carbonato (Andrade, 2011).

A dissolução do carbonato é controlada principalmente pela concentração do íon carbonato ( $[\text{CO}_3^{2-}]$ ) da água do mar. A concentração de saturação, que é diferente para calcita e aragonita, aumenta com a pressão (Andrade, 2011).

Ruhlemann e Schneider (1999) apontam um outro factor importante que controla a dissolução do carbonato de cálcio, a oxidação da matéria orgânica que é enterrada junto com o carbonato, porem em regiões altamente produtivas das margens continentais, o grande suprimento de matéria orgânica gera uma elevada produção de  $\text{CO}_2$ , que aumenta a dissolução do carbonato através da redução da concentração de  $\text{CO}_3^{2-}$  na água intersticial (Andrade, 2011).

### 3 Metodologia

#### 3.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado no estuário de Macuse, (figura 5) que está localizado na Província da Zambézia, no centro de Moçambique, Insere-se administrativamente no Distrito de Namacurra, entre as coordenadas geográficas, 17° 48' 1,43'' S de latitude e 37° 04' 00 E de longitude. Limita-se a leste pelo Oceano Índico, a norte e oeste pelo Posto Distrital de Namacurra Sede e a Sul pelo Distrito de Nicoadala (Miguel *et al.*, 2017).

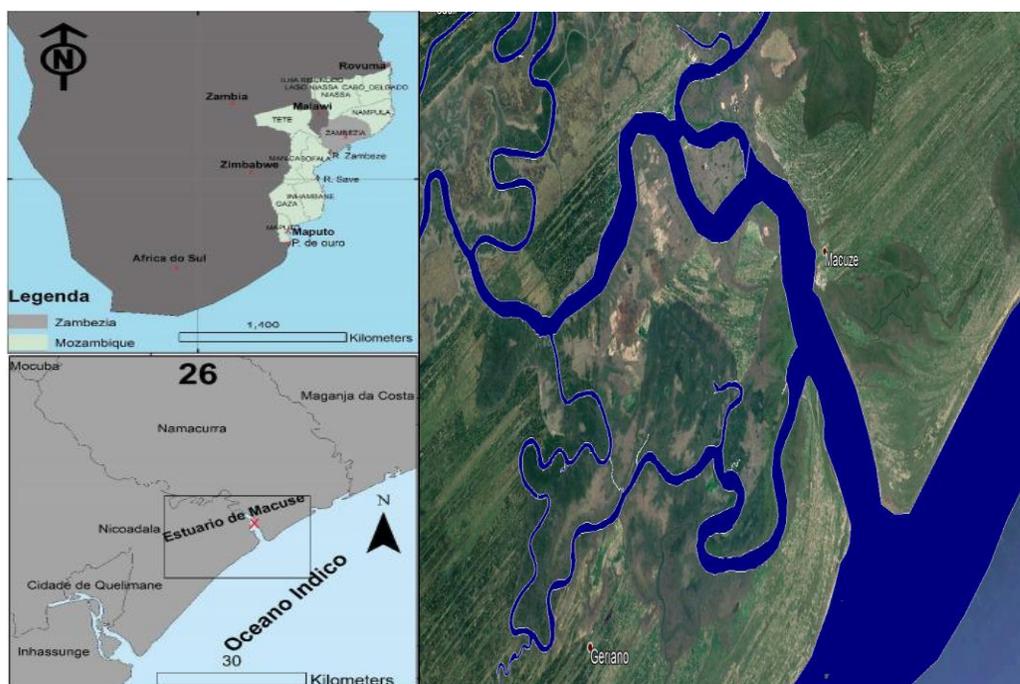


Figura 4: Localização da área de estudo, Fonte: Google Earth

#### 3.2 Materias e métodos.

##### 3.2.2 Procedimento de campo e amostragem.

Para a colecta das amostras, construiu-se um testemunhador (core) de 2.5 m de comprimento usando tubos PVC de 75 mm de diâmetro, fios de aços, parafusos e chapas de zinco.

Assim sendo foi definida dois pontos de coleta de amostras de sedimentos ao longo da profundidade na margem do estuario denominados **EM1** e **EM2** (Figura 6) e com base no GPS *Astro 60* foram georeferenciados as coordenadas que estão ilustradas na tabela 2.

Os pontos foram determinadas de modo a garantir maior cobertura na área de estudo e onde os processos oceanograficos actuam e para estabelecer a estratigrafia dos sedimentos o colocando-se o testemunho de forma vertical no substrato.

A amostragem foi feita durante a maré viva, concretamente no pico mínimo da vazante, tendo-se colectado dois Testemunhos de 90 cm e 140 cm de comprimento.



Figura 5: Pontos de amostragem EM1 e EM2. Fonte: Autor

Tabela 1: Localização geográfica e profundidade de colecta dos testemunhos.

Testemunho	Latitude (S)	Longitude (E)	Profundidade (cm)
<b>EM1</b>	17°41'46.34"	37° 9'57.73"	90
<b>EM2</b>	17°41'24.24"	37° 8'31.71"	140

### 3.2.3 Procedimento Laboratorial.

Os testemunhos foram levados para o laboratório de solos da ESCMC onde foram cortadas longitudinalmente em duas partes iguais e em seguida, as amostras foram confeccionadas em sacos plásticos e devidamente nomeadas em termos da localização do ponto de colecta e a profundidade com um espaçamento de 10 cm para EM1 e 10 cm para o EM2, ao longo da secção vertical de cada testemunho. De seguida as amostras foram encaminhadas para o laboratório de solos do Departamento de agronomia, localizado na Faculdade de Engenharia Florestal e Agronomia da Universidade Eduardo Mondlane - Maputo para posteriores análises dos dados geoquímicos.



Figura 6: Imagem a) ilustra a retirada do testemunho e b) o processo de divisão em duas secções.



Figura 7: A primeira imagem c) mostra o testemunho já dividido em duas partes e a segunda d) tem-se as amostras a serem secadas na estufa.

### 3.2.3.1 Análise granulometria.

Para classificação dos sedimentos quanto a granulometria as amostras foram secas numa estufa a uma temperatura de 60 graus durante 48 horas, posteriormente pesou-se 20g de sedimentos numa balança analítica para um copo de 100ml, adicionou-se 200ml de agente dispersante, posto em contacto durante 12 horas. Pôs-se a suspensão no copo de agitador com auxílio de água destilada e fez-se a agitação durante 60 segundos.

Com ácido clorídrico (HCl) e água oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) eliminou-se o material que contribui para a formação e manutenção dos agregados de partículas neste processo a água oxigenada ataca a matéria orgânica e destrói o material a HCl dissolve o CaCO<sub>3</sub> e ligações de Fe, Al e Mn.

A dispersão efectuou-se com recurso a hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio com objectivo de destruir os agregados, e conseqüentemente separar os elementos constituintes destes.

Passado 24 horas as amostras foram crivadas e nesse procedimento foi separado os diversos tamanhos de areia com diferentes malhas e a fracção mais fina que restou correspondia ao silte e a argila e esses por sua vez foram submetidas ao método de pipitagem, que é baseada na velocidade de sedimentação das partículas segundo intervalos de tempo estabelecidos com base na lei de Stokes (Folk, 1974).

Usou-se agentes dispersante como (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (calgon), Pesou-se 70g de hexametáfosfato de sódio (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> transferiu-se para um balão volumétrico de 2000 ml e dissolveu-se em um pouco de água destilada. Acrescentou-se ao balão 15,88g de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) e agitou-se até dissolver completamente, perfazem-se o volume com água destilada e homogeneizou-se.

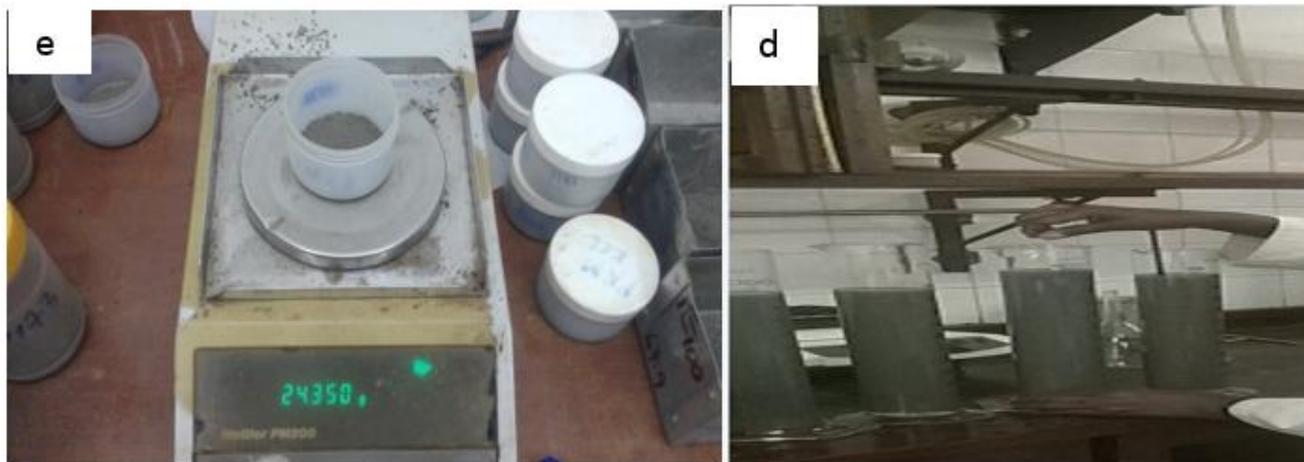


Figura 8: Pesagem das amostras na imagem e) e provetas contendo as amostras de sedimentos imagem d)

### 3.2.3.2 Determinação de Matéria orgânica.

Método de Walkey e Black

O método segundo Walkey e Black é baseado na oxidação da matéria orgânica com dicromático de potássio, num ambiente ácido.



Depois da reacção, o excesso de  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  adicionada, e determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.25 N

A quantidade de carbono que reagiu com o dicromático de potássio, pode-se calcular como a diferença entre a quantidade inicial e final (o excesso) do dicromático de potássio.

### Procedimentos

A pois ter sido secada as amostras, uma quantidade de 0,5 gramas foi colocada no almofariz, moeu-se as amostras tendo sido passado pelo crivo de 0.5 mm, pesou-se uma quantidade de 0,1 e 0.3 gramas para balões de erlenmeyer de 250 e 5.00 ml. Posteriormente foi adicionado 5.00 ml de

dicromato de potássio a 1.000N, medidos com dispersa-dor, 10 ml de  $H_2SO_4$  Concentrado, tendo os agitado durante 1 minuto e deixados em repouso por 30 minutos.

Preparou-se dois ensaios em branco juntando 5.00 ml de dicromático de potássio (1.000N) em balões erlenmeyer e 10 ml de  $H_2SO_4$  Concentrado.

Tratou-se os ensaios em branco como as amostras, deitando 80 ml de água destilada nas amostras e ensaios em branco e adicionou-se 2 a 4 gotas do indicador.

Titulou-se primeiro os ensaios em branco com sulfato ferroso amoniacal, no fim da titulação formou uma cor verde e no ponto de equilíbrio mudou para a vermelha acastanhado, anotou-se o número de milímetros gastos na normalidade exacta da mesma.

Seguiu-se a titulação das amostras com sulfato ferroso amoniacal, determinou-se a normalidade exacta da solução de sulfato ferroso amoniacal ( $FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6HO$ ) e adicionou-se aos ensaios em branco, depois da titulação, 5.00ml de dicromático de potássio com o dispersa-dor e titulou-se novamente com sulfato ferroso amoniacal.

#### **Determinação da normalidade exacta.**

$$t = \frac{(5.00 \cdot 1.0)}{T} \quad \text{Equação 3}$$

Onde,  $t$  corresponde a normalidade exacta, i e, a concentração de sulfato ferroso amoniacal em termos de cargas disponíveis para as reacções de oxi-redução (molc.l-1).

$T$  É volume em ml de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação de 5.00 ml de dicromático de potássio.

#### **Cálculo de carbono orgânico**

$$C_{org}(\%) = 0.396 * t * (B - A) * (f/m) \quad \text{Equação 4}$$

### Cálculo da Matéria orgânica

$$MO = 0.688 * t * (B - A) * (f/m) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

**B** é o volume em ml de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação de ensaio em branco.

**A** é o volume em ml de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra.

**T** é a Normalidade exacta da solução de sulfato ferroso amoniacal.

**m** é a massa em gramas da amostra.

**f** é o factor de humidade.

#### 3.2.3.3 Determinação de nitrogénio total.

A determinação de nitrogénio total foi baseada a partir da metodologia descrita por Kjeldahl, o nitrogénio nos sedimentos é transformado em amónio ( $NH_4^+$ ) Pela oxidação do mesmo com ácido sulfúrico concentrado, utilizando sulfato de potássio ou sódio na presença de selénio e sulfato de cobre como catalisador.

Depois da digestão, o amónio é destilado em presença de alcali, o amoníaco ( $NH_3$ ) libertado e recolhido numa solução de ácido bórico e titulado com ácido clorídrico.

#### Procedimento

Pesou-se 1.00 grama de sedimentos num balão de Kjeldahl, bateu-se ligeiramente o balão na palma da mão para arrastar toda amostra para o interior deste. Adicionou-se 1.00 grama do catalisador com espátula e o gargalo foi lavado com 4 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Os balões foram ligados ao aparelho de digestão e aquecido lentamente, agitando frequentemente até que a espuma diminuísse, depois aumentou-se a temperatura tendo mantido o aquecimento até que o resíduo ficou branco, ferveu-se lentamente durante 30 minutos e agitando-o.

A destilação foi feita com destilador *Buchi 321* onde abria-se o sistema de refrigeração e ligou-se o aparelho, controlando a corrente de água, dos reservatórios de água e hidróxido de sódio se estavam livres e deixavam passar os líquidos livremente.

Colocou-se na saída de destilação um erlenmeyer de 250 ml contendo 10.0 ml de ácido bórico a 1% e três gotas de indicador, a extremidade do condensador esteve mergulhada na solução contendo ácido bórico, tudo para evitar perdas de gás  $NH^3$

A seguir foi transferido o conteúdo dos balões de digestão quantitativamente para os tubos de digestão e ligou-se o aparelho.

Adicionou-se água até um volume de 100 ml (Botão de água) e juntou-se 35 ml de hidróxido de sódio (25%) e daí iniciou-se a destilação.

O nitrogénio passou na forma de gás  $NH^3$  para o balão de 250 ml onde reagiu com ácido bórico, a cor da solução de ácido bórico passou de rosa para verde durante a destilação, depois da destilação titulou-se a solução destilada que apresentava a cor verde com solução de ácido clorídrico 0.01N, até a cor mudar para vermelho.

### Cálculos de nitrogénio total

$$N(\%) = (A - B) * N(HCl) * 14 * F/P * 10 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

**A** é ml gastos na titulação da amostra;

**B** é ml gastos na titulação do ensaio em branco;

**N** é normalidade da solução HCl;

Peso M (n): peso molecular do indicador do nitrogénio (14g/mol);

**P** é peso da amostra;

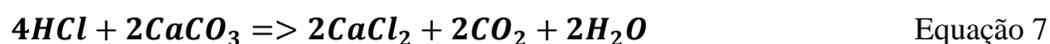
**F** é factor da humidade



Figura 9: Observa-se na imagem (f) processo de filtragem e o material usado na titulação na imagem (g).

#### 3.2.3.4 Quantificação de carbonato de cálcio.

Para a análise do conteúdo de carbonato adotou-se a técnica de digestão ácida com HCl (ácido clorídrico), O HCl reage com os carbonatos segundo a equação 2, escrita com base no carbonato de cálcio, uma vez que este é o mais comumente encontrado nos sedimentos marinhos



Esta reação produz uma efervescência característica devido à liberação de CO<sub>2</sub> a qual foi usada como indicador do andamento da análise, portanto, considera-se que a eliminação esta concluída quando não haver mais efervescência.

#### Procedimento Analítico

Pesou-se, dentro de um béquer de 50 mL, uma alíquota de 22 gramas de sedimento em balança analítica, esta alíquota foi submetida a processo de digestão ácida, dentro de uma capela, para a eliminação total dos carbonatos utilizando-se 50mL de HCl diluído a 10% e agitado durante 1hora.

Após a digestão ácida a amostra foi lavada várias vezes, para eliminar possíveis resíduos de HCl e CaCl<sub>2</sub> que estiverem presentes, e seca em estufa à 60°C, em seguida a amostra foi pesada

novamente para que o conteúdo de carbonato fosse calculado pela diferença entre o peso inicial e final conforme a equação 5.

#### Cálculos de carbonato de cálcio

$$\% \textit{Carbonato} = \frac{(\textit{peso 1} - \textit{peso 2})}{\textit{peso 1}} * 100 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

peso 1 – peso inicial da amostra;

peso 2 – peso da amostra depois da eliminação dos carbonatos.

#### 3.2.4 Tratamento dos dados.

Os dados gerados durante as análises laboratoriais foram compilados na folha de cálculo computacional do *Software Microsoft Excel 2010*, procedimento que auxiliou organização de dados e calcado a razão entre Carbono e nitrogénio, assim como a construção de gráficos apresentados no capítulo dos resultados.

Também foi efectuada uma análise estatísticas as correlações de Pearson com ajuda do programa computacional *software past*. Com objectivo de identificar o grau de relação existente entre o carbono orgânico e o tamanhos dos sedimentos, esta correlação de Pearson é utilizada na descrição da associação entre variáveis independentes, não implicando em dependência entre as variáveis, nem relação de causa-e-efeito (Nagai, 2009).

O coeficiente de correlação de Pearson foi determinada pela equação 9, e a classificação de coeficiente de correlação de Pearson está patente na tabela 4 do anexo 1.

$$r = \frac{\sum(x-x^{\circ})*(y-y^{\circ})}{(n-1)*S_x*S_y}$$

Equação 9

Onde:

$x$  – Segunda variável;  $y$  – Primeiras variáveis em estudo;

$x^{\circ}$  – Média do conjunto de dados da primeira variável;

$y^{\circ}$  – Média do conjunto de dados da segunda variável;

$S_x$  – Desvio padrão do conjunto de dados da primeira variável e

$S_y$  – Desvio padrão do conjunto de dados da segunda variável

## 4 Resultados.

### 4.1 Quantificação do Carbono orgânico.

Os gráficos da figura 10 ilustram as variações do carbono orgânico em porcentagem para os dois pontos. Os valores de carbono orgânico para o ponto de amostragem EM1 flutuaram de 0.92 a 3.56% mínimo e máximo respectivamente, ao longo do testemunho vê-se um aumento dos valores de carbono orgânico do topo em direcção a base, sendo que elevadas flutuações nos valores de carbono orgânico são observados dos 60-70 cm de profundidade, e daí em diante os valores tendem a baixar. Os valores de carbono orgânico para o testemunho do EM2 variam entre 0.56 a 1.88 %, em 10 cm e 0 cm de profundidade da amostra total ao longo do testemunho, também observa-se ao longo do testemunho uma diminuição das concentrações do carbono orgânico do topo até acessivelmente 50 cm e daí tende-se a manter-se constante até a base.

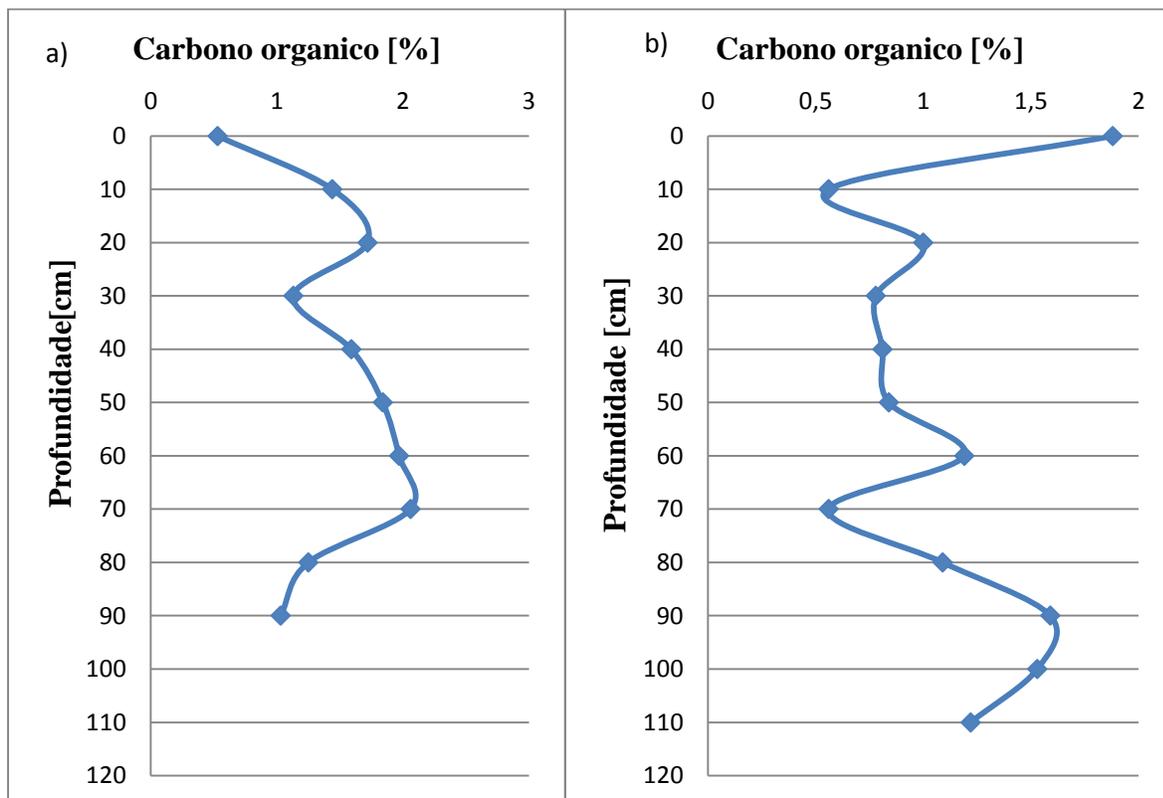


Figura 10: Curva da variação da concentração de Carbono orgânico do ponto EM1 (a) e EM2 (b).

#### 4.2 Conteúdo de matéria orgânica.

A figura 11 mostra os gráficos da variação da matéria orgânica ao longo da profundidade, para o ponto (EM1) os valores da matéria orgânica em percentagem tem como mínimo 0.92% e máximo 3.56% a 0 e 70 cm de profundidade respectivamente, apresenta uma tendência de crescimento do topo até aos 20 cm dai decresce e volta a aumentar até o seu valor máximo e neste ponto diminui até a base. O ponto EM2 os valores flutuaram em torno de 3.23 por cento na profundidade 0 (zero) e 0.97% nos 10 cm de profundidade, neste testemunho a matéria orgânica apresenta várias oscilações de valores do topo até a base e uma estabilidade dos mesmo a aproximadamente a 1.0% a partir da profundidade 30 cm até 50 cm, apartie desta profundidade verifica se uma oscilação até que haja um aumento até a base.

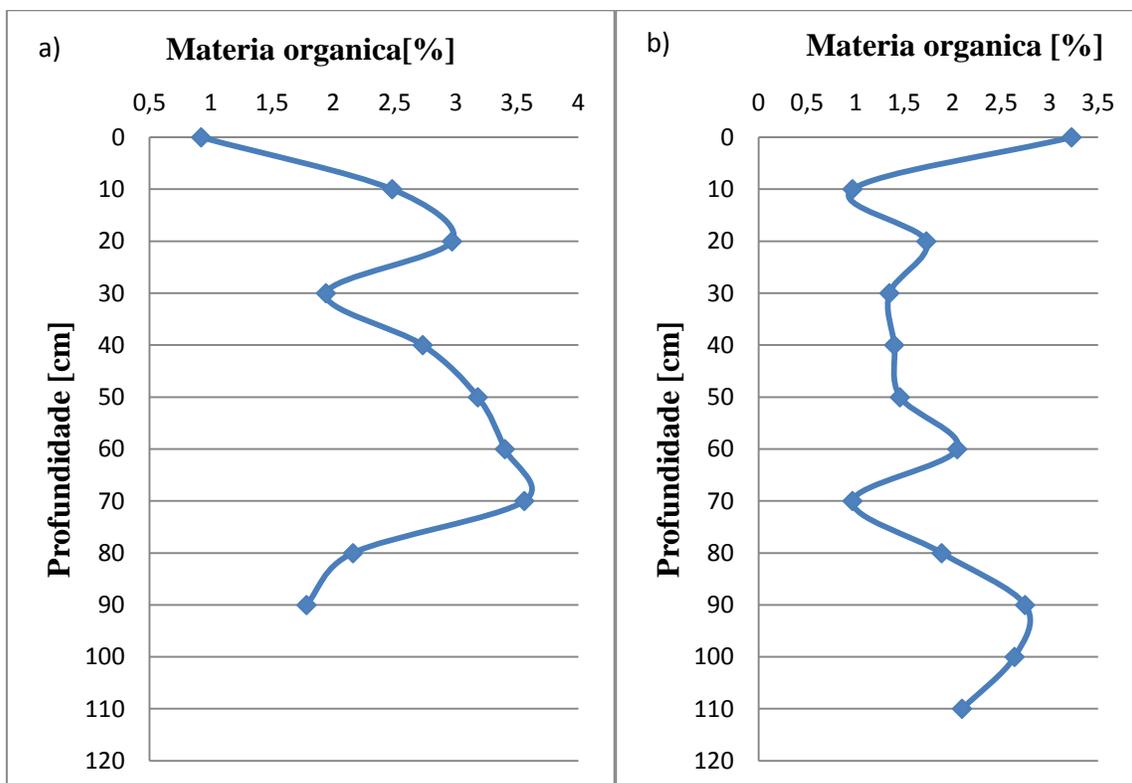


Figura 11: Curva da variação do ponto EM1 (a) e EM2 (b) do conteúdo de matéria orgânico.

### 4.3 Identificação da origem da matéria orgânica.

Os gráficos da figura 12, mostram a origem da matéria orgânica, traduzida pela razão de carbono e nitrogênio, para EM1 observa-se um mínimo de 3,98% e máximo de 20,39 nas profundidade 0 a 70 cm, apresenta um padrão crescente do topo do testemunho até aos 40 cm e diminuiu até a 50 cm e deste ponto tem-se um crescimento até a base, esses valores apontaram para matéria orgânica de origem predominantemente terrestre e o testemunho. O ponto EM2 mostrou valores mínimo de 6,92 e máximo de 22,44% ou seja, sua origem variou entre marinha e continental. Seus valores demonstraram tendência geral de aumento dos 10 cm até 60 cm de profundidade, Sequencialmente, diminuíram até a base.

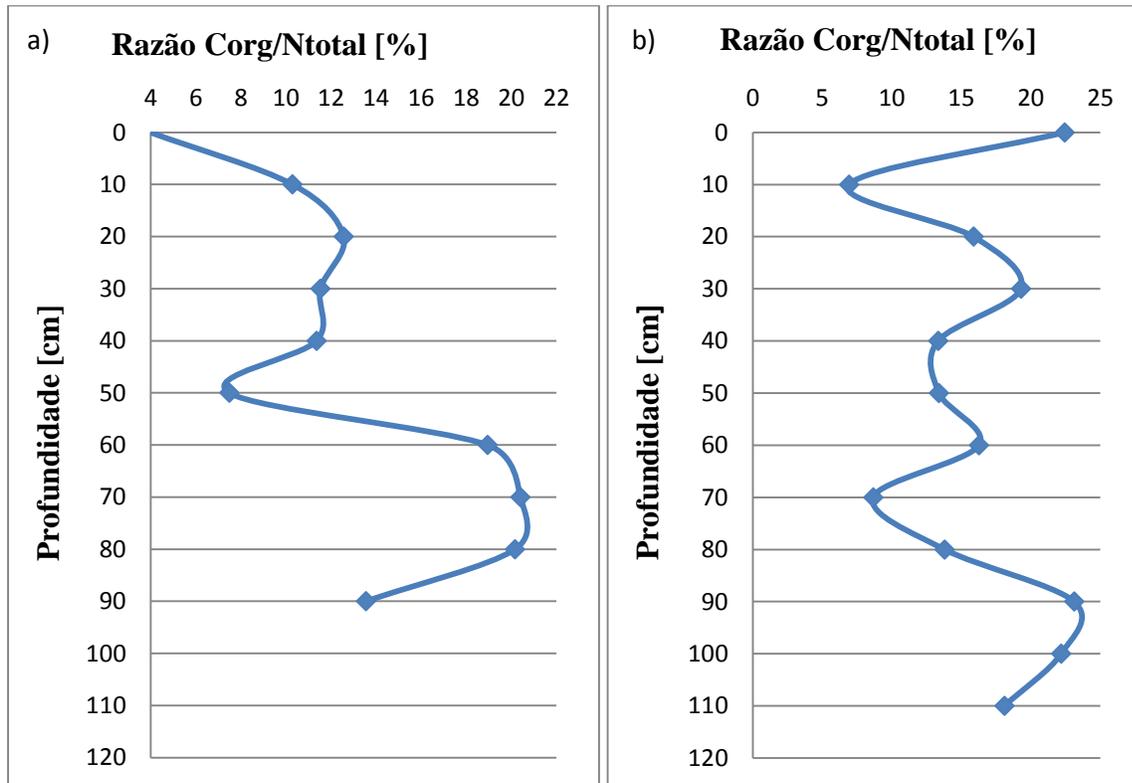


Figura 12: Curva da variação da razão entre carbono orgânico e nitrogênio total (Razão Corg/Ntotal).

#### 4.4 Carbonato de cálcio.

A variação em função da profundidade de conteúdo em  $\text{CaCO}_3$  é observado nos gráficos na figura 13, observa-se valores mínimo de 2.4% e um máximo de 4.1% para o primeiro ponto de amostragem (EM1) e nos primeiros centímetros 0 cm, observa-se valores a aumento até 40 cm de profundidade, partir desta profundidade esse valores diminuem até 2.4% a 60 cm, dai aumenta até 70 cm e voltam a decrescer até a base do testemunho de 2.2% até 6.1%.

Para o segundo ponto (EM2), a partir do topo há uma ligeira diminuição de  $\text{CaCO}_3$  até 10 cm de profundidade, bruscamente esses valores voltam a aumentar até 40 cm com cerca de 6.1%, onde começam a ter um decréscimo até 80 cm dai apresenta um amento de 2.2% até 5.4% aos 100 cm de profundidade, o seu máximo e de teve como máximo de 6.1% e seu mínimo 2.2%.

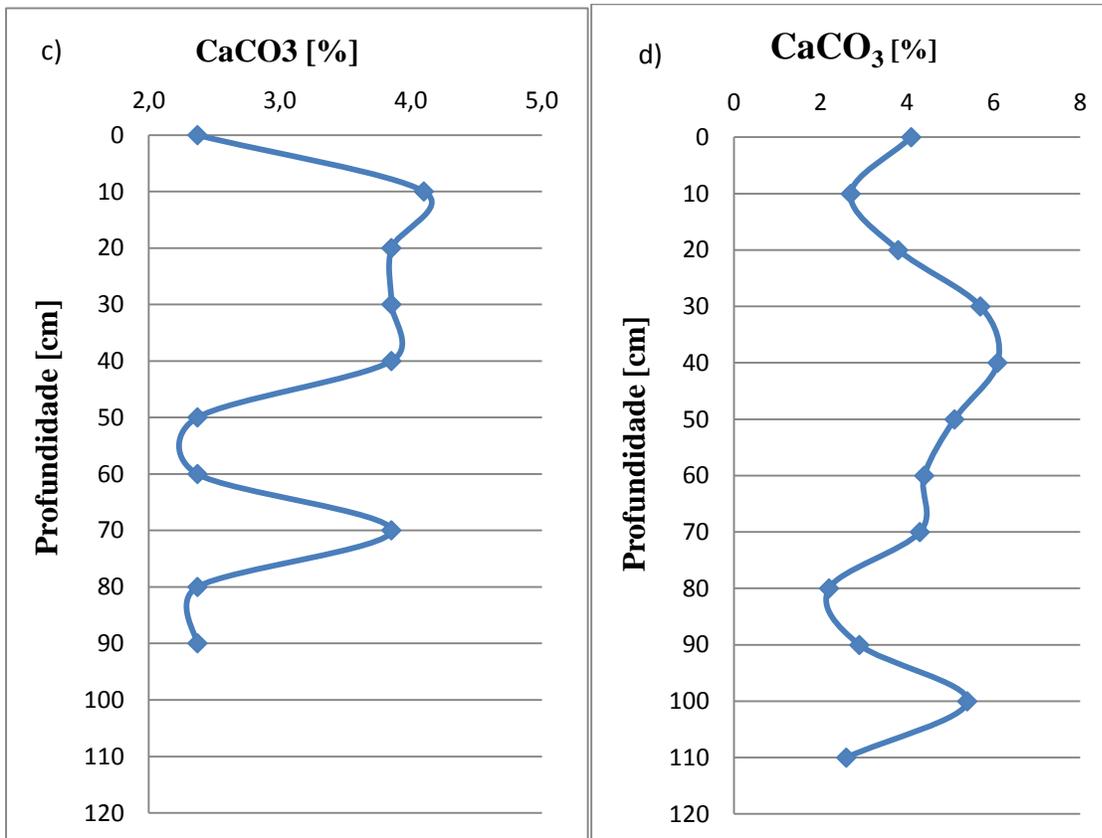


Figura 13: Variação de Conteúdo de carbonato de cálcio ao longo da profundidade nos dois pontos de amostragem EM1 c) e EM2 d).

#### 4.5 Granulometria dos sedimentos.

A distribuição granulométrica e o padrão do tamanho dos sedimentos é um bom indicador das variações da energia cinética e do padrão de deposição no ambiente estuarino.

Para o primeiro ponto no que tange ao tamanho dos sedimentos observa-se que eles estão misturados contendo sedimentos de tamanho areia, silte e argila e estes tem as sua variações bem distintas mas ao longo da profundidade dos testemunhos é possível notar-se que onde ocorre os valores mínimos de argila é na mesma camada que encontra-se o valor máximo de areia. Os valores dos sedimentos denominados silte varia de 26.09% e 13.14%, localizados a 30 cm 10 cm respectivamente, do topo ele cresce até aos 40 cm de profundidade onde começa a decrescer até a base. Por orto lado tem-se a argila que constitui a maior concentração destes sedimentos com uma variação decrescente a partir dos 10 cm até a base, possui como valor máximo e mínimo de 80.71% e 48.13% nas profundidades de 10 e 90 cm respectivamente.

A partir dos 10 cm a concentração de sedimentos de tamanho areia começa a aumentar ligeiramente até a base do testemunho, tipo de sedimentos conhece a sua concentração mínima na profundidade 10 cm e seu valor máximo a 90 cm, de 5.84% e 35.83% respectivamente.

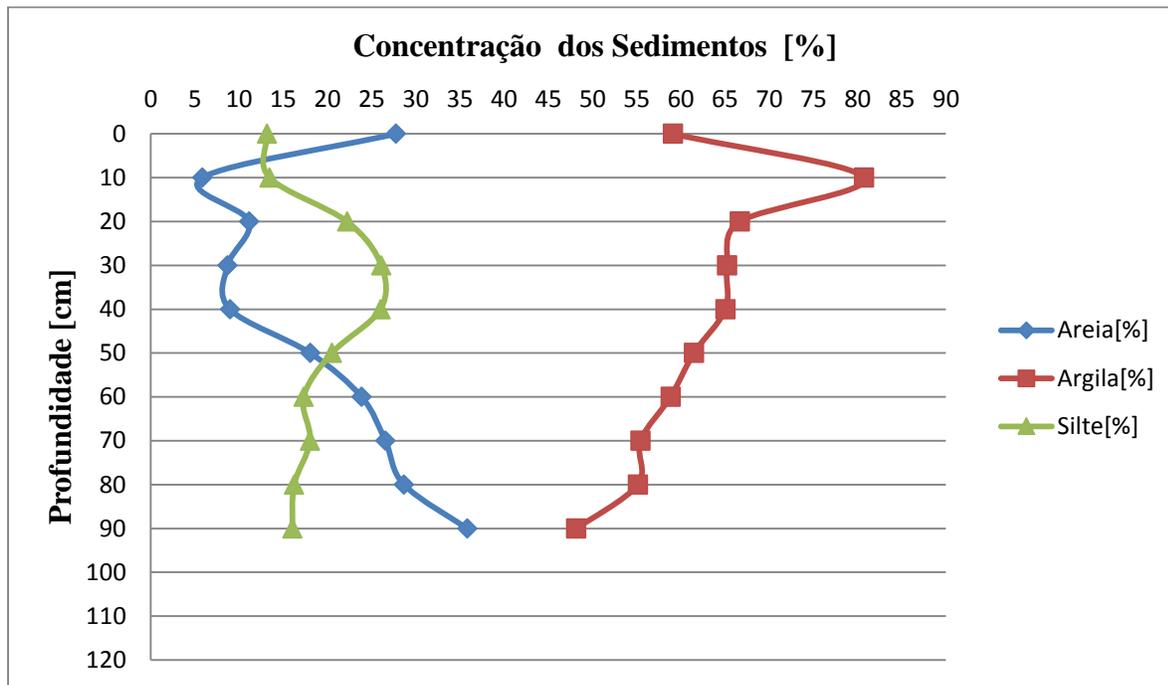


Figura 14: Variação da concentração do Silte, Argila e Areia ao longo do testemunho EM1.

A variação litológica para o testemunho EM2 é caracterizada pelas uma mistura de silte, argila e areia em quantidades aproximadamente iguais.

O silte apresenta uma concentração que varia de 18.91% a 31.31%, outrora a argila vária de 39.65% a 68.53% e a areia variou de 6.6% a 37.30% ao longo do testemunho, sendo que este tamanho dos sedimentos é o menos abundante, a sua variação em geral crescente até aos 40 cm de profundidade e onde decresce até 50 cm e volta a ter um padrão de crescimento até a base.

Valor máximo do silte é verificado nos primeiros 0 cm de profundidade com uma concentração de 31.31% e tem uma variação relativamente constante o seu mínimo encontra-se nos 70 cm de profundidade com 18.91% em sua concentração. No que diz respeito a argila apresenta o seu máximo nos 90 cm de profundidade com 68.53% e o mínimo de 39.65% nos 40 cm sendo que a seu perfil e de diminuição até relativamente os 90 cm.

Quanto a areia valor máximo e de 37.30% aos 40 cm e o mínimo (6.6%) observa-se na profundidade 90 cm e deste modo salientar que a profundidade o encontra-se o valor máximo de areia coincide com a profundidade onde se tem o valor mínimo da argila e a mesma situação

acontece quando se tem o valor mínimo da areia tem-se o valor máximo da argila na mesma profundidade de 90 cm.

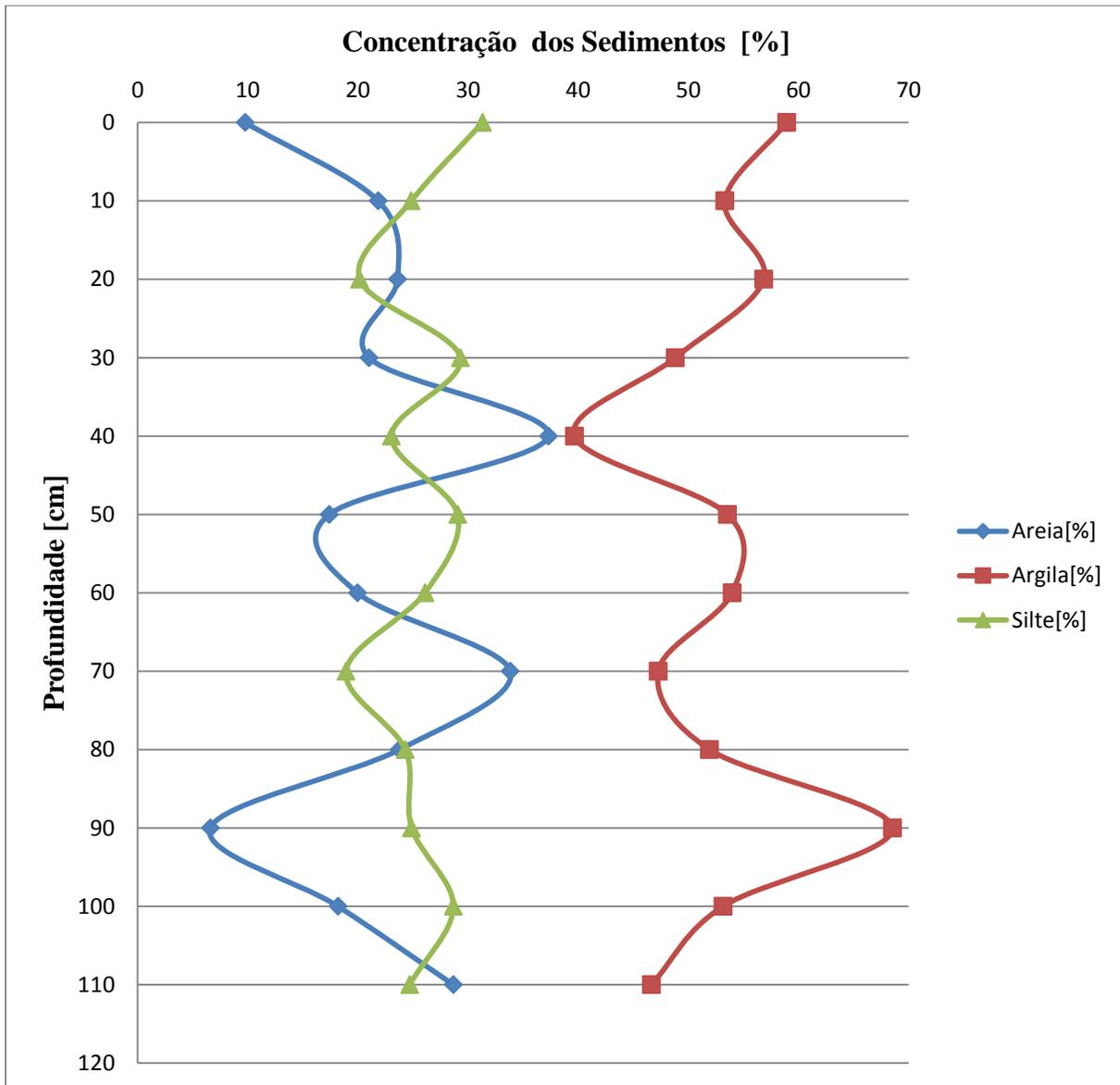


Figura 15: Variação da concentração do Silte, Argila e Areia ao longo do testemunho EM2.

#### 4.6 Correlação do Carbono orgânico com a Granulometria dos sedimentos.

A figura 17 e 18 ilustra a comparação para os dois pontos de amostragem a relação da variação do carbono orgânico com a tamanho de sedimentos neste caso o silte, argila e areia, isto é, o coeficiente de Person.

Pode-se verificar que no EM1 o carbono orgânico e areia têm uma relação forte negativa com um valor de coeficiente de Pearson ( $r = -0,68$ ), também existe uma relação moderada positiva entre o carbono orgânica argila e silte com valor de Pearson ( $r = 0,58$ ) e ( $r = 0,50$ ) respectivamente.

Para segundo ponto de amostragem as relações do carbono orgânico com o diversos tamanhos dos sedimentos como a areia é moderada negativa justificado pelo valor de ( $r = -0.23$ ), porem para com o silte tem se o valor de Pearson ( $r = 0.29$ ) dita relação Fraca positiva e com argila tem-se uma relação positiva com valor de Pearson ( $r = 0.11$ ) .

Tabela 2: Valores de correlação de Pearson entre os parâmetros e no ponto EM2.

	MO	Corg	Ntotal	RazãoC/N	Carbonatos	Areia	Argila	silte
MO	1							
Corg	0,99997	1						
Ntotal	0,28046	0,43327	1					
RazãoC/N	0,5243	0,12049	-0,6221	1				
Carbonatos	0,27725	0,42963	-0,01312	0,023988	1			
Areia	-0,22745	-0,23332	-0,40199	0,31485	-0,75416	1		
Argila	0,11483	0,119	0,3828	-0,36836	0,64832	-0,89451	1	
Silte	0,28988	0,2951	0,177	-0,010901	0,46262	-0,54803	0,11628	1

---

---

## Estudo da Paleoprodutividade do Estuário de Macuse durante o Holoceno

---

Tabela 3: Valores de correlação de Pearson entre os parâmetros no ponto EM2.

	MO	Corg	Ntotal	RazãoC/N	Carbonatos	Areia	Argila	Silte
MO	1							
Corg	0,99997	1						
Ntotal	0,3892	0,39023	1					
RazãoC/N	0,86919	0,86843	-0,1029	1				
Carbonatos	-0,1410	-0,14005	-0,60802	0,1227	1			
Areia	-0,6866	-0,6843	-0,28035	-0,63208	0,20647	1		
Argila	0,59069	0,58757	0,35136	0,48285	-0,41049	-0,90145	1	
Silte	0,5034	0,50398	0,034301	0,5545	0,27074	-0,62967	0,23253	1

---

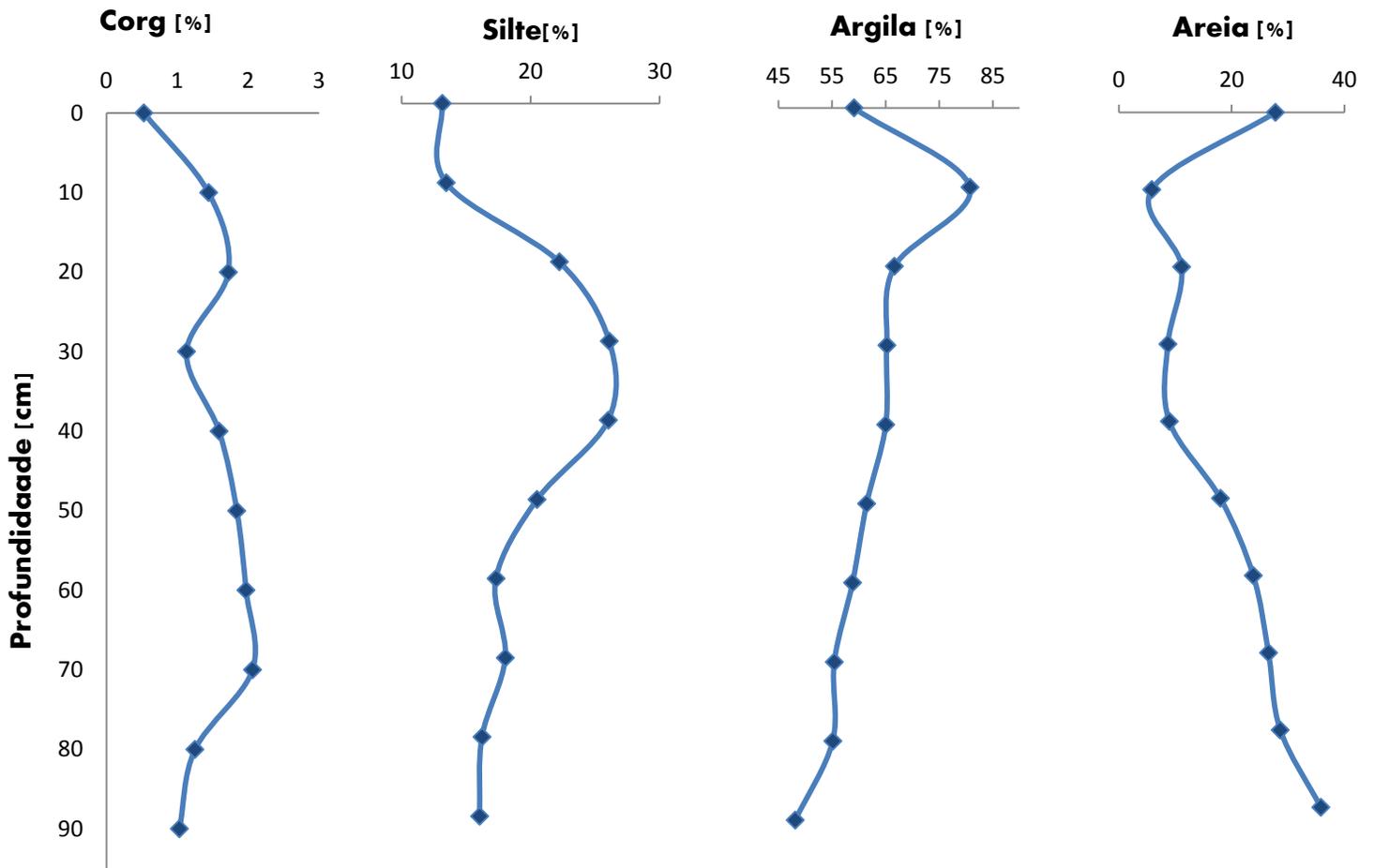


Figura 16: Curvas de variação de carbono orgânico, silte, argila e areia em função da profundidade no ponto EM1.

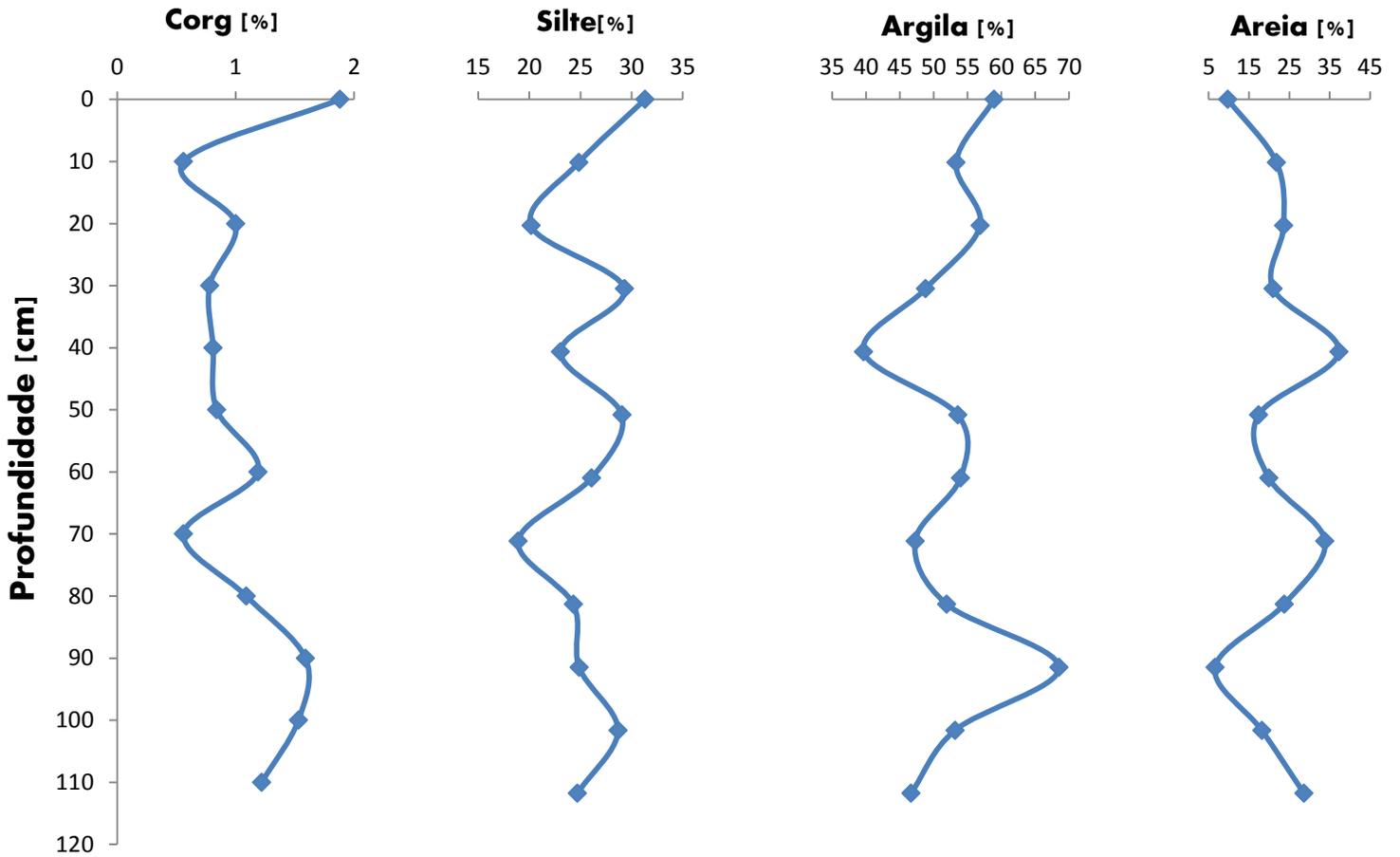


Figure 17: Curvas de variação de carbono orgânico, silte, argila e areia em função da profundidade no ponto EM2.

## 5 Discussão

### 5.1 Carbono orgânico ao longo da profundidade.

O carbono orgânico é o principal constituinte dos compostos biológicos e compõe fundamentalmente toda a matéria orgânica (Andrade, 2011). Deste modo, existe uma relação direta entre o conteúdo de carbono orgânico e o aporte quantitativo de matéria orgânica. Assim, o registro do conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos marinhos é considerado como uma importante ferramenta para acompanhar variações na paleoprodutividade (Pichevin, Bertrand, Boussafir, & Disnar, 2004).

De acordo com a quantidade percentual de carbono orgânico obtido em cada ponto de estuário estudado, indica que em ambos os locais de amostra há predominância de flutuações de concentrações de carbono orgânico, que a sua concentração varia de lugar para lugar e sem nenhum padrão.

Fazendo uma divisão dos perfis em duas subdivisões em termos de valores máximo e mínimo, tem-se a 10 cm e 70 cm valores mínimos e máximos nos 20 cm, 60 cm e 90 cm ao longo do perfil do EM1 sendo que para EM2 os maiores valores estão nas profundidades de 20 cm, 70 cm e os mínimos a 0 cm, 30 cm e 90 cm.

Os valores baixos de carbono orgânico são interpretados como um sinal de baixa produtividade e de acordo com o (Nagai, 2009) estes podem ser resultados da re-suspensão da matéria orgânica devido a correntes de fundo (geralmente mais intensas); a degradação da matéria orgânica como resultado do aumento na oxigenação e diminuição do aporte de matéria orgânica continental e variações de nível do mar.

De um modo geral as variações de nível do mar acima do atual a capacidade de transporte de sedimentos pelas correntes fluviais para a plataforma continental pode diminuir, na medida em que a água do mar invade o rio dificultando a dispersão da pluma Gyllencreutz *et al.*, (2010).

Entretanto haveria menor deposição de nutrientes de origem alóctone que são responsáveis pela produção de matéria orgânica.

Valores máximos do carbono orgânico são indicativo de alta produtividade, os autores Zarriess e Mackensen (2010) entende que a alta produtividade é caracterizada pela entrada da matéria orgânica e é ocasionada em tempos de aquecimento húmido, por outro lado para Andrade (2011), os elevados valores de carbono orgânico podem estar associados a diminuição das correntes do fundo o que culmina com a conservação do material depositado nos sedimentos, bem como a diminuição do oxigênio no fundo onde não se verifica a decomposição da matéria orgânica depositada.

O aumento na produtividade com elevados valores de Carbono orgânico, e diminuição de fracção de areia e aumentos da concentração de silte nos sedimentos, facto este que pode ser justificado pelo fornecimento de nutrientes, um ambiente calmo, isto, é menos turbulento que facilitou a penetração da luz.

No entanto para Meyers e Bernasconi (2005) os valores altos como aqueles comuns em *sapropels* (sedimentos ricos em matéria orgânica) são encontrados em matéria orgânica marinha depositada sob áreas de alta produtividade.

Pode-se observar que em ambos os testemunhos verifica-se que os valores mínimos e máximos estão em profundidades diferentes, embora os testemunhos tenham sido coletados em locais próximos entre si, isto não significa que eles tenham experimentado as mesmas condições ambientais o que explica, em parte, as diferenças entre os registros.

### **5.2 Fonte de matéria orgânica ao longo da profundidade.**

O carbono e o nitrogênio nas suas formas orgânicas são os principais constituintes da matéria orgânica depositada no compartimento de fundo. A análise destes componentes é umas das formas mais eficazes de assinaturas oceanográficas ao longo de um ambiente sedimentar (Siqueira, Braga, Mahiques, & Aprile, 2006).

A relação carbono e nitrogénio ou razão ( $C_{org}/N_{total}$ ) para o testemunho EM2 mostrou valores entre 6,92 e 22,44, com a média de 16,11 bem como 20,39 e 3,98 com média de 13,024% EM1. Isto sugere uma mistura de carbono e nitrogénio de uma variedade de fontes continentais (plantas terrestres, bactérias, algas) e fontes marinhas (plantas aquáticas, fitoplancton etc).

As razões determinadas reflectem certa estabilidade da matéria orgânica preservada nos sedimentos colectados, as profundidades 0 cm, 90 cm, 100 cm que se obteve ( $C_{org}/N_{total} = 22,43, 23,10$  e  $22,11$ ) respectivamente, encontrados no ponto EM2, teriam sido mais influenciados pelas descargas fluviais, com uma quantidade de detritos orgânicos ou uma deposição do material residual da vegetação terrestre, importante realçar que o ponto EM2 está localizado mais distante da boca o que justifica os elevados valores da relação carbono e nitrogénio fazendo uma comparação com o ponto EM1, este apresenta valores relativamente baixos de ordem de 10 a 20, indicando assim uma fraca influência das descargas dos rios contra o EM2.

Em geral os valores altos da  $C_{org}/N_{total}$  também são encontrados no ponto EM1 em que superam 10, provavelmente essas camadas terem sido afectada pela actividade humana, a hidrologia local e a vegetação provavelmente mudou drasticamente devido a actividades associadas com construção de sistemas de irrigação, pastagem de gado e extracção de argila para fabricação de tijolos.

De acordo com o Windham e Meyerson (2003) a presença antropogênica, e o estabelecimento de juncos tem a capacidade de importar o nitrogénio criando comunidades ecológicas alta em nitrogénio, levando a um menor relação  $C_{org}/N_{total}$  nos sedimentos.

Ainda no âmbito da discussão dos altos valores de  $C_{org}/N_{total}$ , Yoshikazu e Eiji (2001) assim como (Mooy *et al.*, 2002) chegam à importante conclusão que os modos suboxico e oxico de organismos marinhos a degradação da matéria diferem. Os últimos autores determinaram, a partir de estudos de armadilha de sedimentos, que a degradação microbiana subóxica via desnitrificação preferencialmente utiliza aminoácidos ricos em nitrogénio e, portanto, deixa uma proporção maior dos componentes de matéria orgânica pobres em nitrogénio intactos sob condições oxicas daí os valores  $C_{org}/N_{total}$  dos sobreviventes a matéria orgânica necessariamente aumenta (Meyers e Bernasconi, 2005).

Ao longo dos testemunhos observa-se algumas oscilações da razão por exemplo no EM1 na profundidade de 50 cm tem-se 7.47, 3.98 a zero cm e aos 70 cm e 10 cm em profundidade apresenta 8.66 e 6.92 respectivamente para EM2, esses valores representam a existência de matéria orgânica de origem marinha, que de acordo com (Lamb *et al.*, (2006) podem ser do fitoplâncton, que é uma fracção importante do carbono orgânico aquático, é relativamente rica em nitrogénio e, portanto, tem baixas relações carbono orgânico e nitrogénio variando de 4 a 10 (Meyers, 1997).

Por outro lado essa pode representar uma fase de aumento sedimentação de carbono aquático associada a níveis mais elevados do mar (Norström, *et al.*, 2012).

Aliado a umas misturas de matéria orgânica (terrestre e marinha) sugere que o estuário de Macuse teve duas fases para o período estudado, a fase em que o estuário provavelmente foi fortemente afectada pelas condições marinhas e mais altos do mar. Norström, *et al.*, (2012) Sugere que durante a fase em que as condições da marinha são dominante, o influxo de água do mar, o transporte e deposição de sedimentos do mar foram substanciais, para esta pesquisa este facto é evidenciada pela baixa relação  $C_{org}/N_{total}$  devido a uma presença da componente fitoplanctónico.

As profundidades de 110 cm e 20 cm do EM1, são equiparados as de testemunhos recuperados no estuário da baía de Inhambane por Norström, *et al.*, (2012), percebe-se que estes são datados aproximadamente a 4700 anos antes do presente (*cal years BP*).

Assim entre 4700 e 1000 anos antes do presente (*cal BP*), foi um período em que as curvas do nível do mar da região sugerem ocasionais levantamentos menores do nível do mar, havendo uma alta concentração de diatomáceas e Pseudopodosirap tamente com um aumento Nitrogénio, cocconeiforme e ausência de taxa de água doce.

Isso indica um retorno à água salobra ou marinha, sugerindo um retorno a influências de maré mais fortes no local e para o estuário de Macuse há uma tendência de os valore da razão  $C_{org}/N_{total}$  estarem aproximadamente a 10 (esses valores podem terem outra-passado a 10 ou estarem abaixo devidos as razões discutido por (Mooy *et al.*, (2002), nas profundidades 20 a 70cm de profundidade ao longo de EM1, oque não se verifica no testemunho EM2, talvez por estar mais distante da boca de estuário onde as influencias marinhas diminuem gradualmente.

Entre esses limites, entorno das 80 a 110cm de profundidade e aproximadamente de 4700 anos antes do presente, as condições de água doce prevaleciam razão pela qual registou-se altos valores da razão Corg/Ntotal nos dois testemunhos.

### **5.3 Conteúdo de carbonato de cálcio.**

A distribuição em função da profundidade de carbonato cálcio no estuário apresentou valores percentuais de forma irregular. Para o EM1 as maiores concentrações do carbonato cálcio foram encontrados nas profundidades de 10 até 40 cm. Segundo (Fritzen, 2007) esses valores podem estarem associados a descargas dos rios que transportam os sedimentos do continente para o estuário enriquecido por compostos carbonaticos ao longo do tempo. Santos (2010) associa essas descargas dos compostos carbonaticos a intensa meteorização de afloramentos rochosos de natureza calcária.

Nos dois pontos de amostragem existe alguma profundidade em que há um decréscimo dos valores de carbonato de cálcio 50 e 60 cm para EM1 e 10, 20, 80 e 110 cm para EM2, esta diminuição das %CaCO<sub>3</sub>, contribuiu provavelmente para o desaparecimento de espécies calcárias, impedidas de construir suas testas porem Segundo (Denis, 2004) os baixos teores de carbonato (na ordem de 0,66 a 2,02%) sugerem que este componente seja autóctone, tendo sua origem associada à presença de organismos biomineralizadores, como por exemplo, pequenos gastrópodes e moluscos bentônicos.

### **5.4 Correlação entre a granulometria dos sedimentos e os níveis d carbono orgânico.**

Os valores de coeficiente de Pearson, que podem ser observados na Tabela 2 e 3, indicam a existência de uma correlação entre as concentrações do carbono orgânico e o tamanho dos sedimentos.

Desta forma a correlação de carbono orgânico com a granulometria nos dois pontos de amostragem foi negativa ( $r = -0.68$ ) e ( $r = -0.23$ ) para fracção de areia e positiva, para argila ( $r = 0,58$ ) e ( $r = 0.11$ ), e silte tem-se ( $r = 0,50$ ) e ( $r = 0.29$ ) respectivamente nos pontos EM2 e EM1. Estes

resultados evidencia uma influencia do tamanho de sedimentos (principalmente o silte e argila) na produtividade tal como sugerido por (Michel, Yasufumi, & Rodrigues, 1999).

Porém, os outros como Hiner, *et al.*, (2016) que trabalham no lago (Abbott), na costa central da Califórnia consideram que a relação entre areia e carbono orgânico deve ser positivamente correlacionada, porque no seu entender a maior teor de areia é interpretado para reflectir mais escoamento e maior aporte de nutrientes. So o principal problema nestas considerações está no facto de sedimentos fino serem preferências na retenção do carbono orgânico consequentemente é mais preservados.

Entretanto, de acordo com Tyson (1995) o conteúdo orgânico nos sedimentos das margens continentais geralmente aumenta quando os grãos que os constituem tornam-se mais finos, outro factor que justifica essa correlação positiva de silte e carbono orgânico é devido à adsorção de matéria orgânica na superfície do mineral, principalmente em sedimentos finos, que apresentam uma grande área de superfície (Hedges & Keil, 1995),

O Silts (<62,5 µm de diâmetro) e argilas (<4 µm de diâmetro) são mais quimicamente e biologicamente reactiva do que as partículas mais grosseiras Amanda, *et al.*, (2017), também os sedimentos finos apresentam uma maior coesão e especificamente argila actua como um cimentador, aumentando deste modo a coesão dos sedimentos finos (Andrade, 2011).

Assim sendo a correlação entre o carbono orgânico e granulometria dos sedimentos pode ser parcialmente explicado pela semelhança entre a velocidade de deposição dos constituintes orgânicos particulados e das partículas minerais finas (Tyson, 1995).

## 6 Conclusão

A pesquisa evidenciou a evolução da paleoprodutividade do estuário de Macuse do durante o holoceno, onde de acordo com os resultados e discussão teve-se as seguintes conclusões:

- ✓ Na base dos valores observados de carbono orgânico e carbonato de cálcio ao longo dos testemunhos conclui-se que a produtividade do estuário sofreu várias alterações justificadas pela observação de picos mínimos e máximos em todos os testemunhos.  
Obteve-se em geral valores de carbono orgânico que variam de 0.53 até 2.1%, os valores de  $\text{CaCO}_3$  flutuaram de 2.2 a 6.0%.
- ✓ Os valores da razão  $\text{Corg}/\text{Ntotal}$  rondaram entorno de 3.9 a 23% com maior destaque para valores superiores a 10, a fonte dominante da matéria orgânica presente no estuário é de origem continental e está associada as variações do nível do mar que este ambiente foi inserida durante muito tempo.
- ✓ Quanto a granulometria, das três classes obtidas (silte, argila e areia) o silte foi mais representativo em todos pontos e é um dos fatores que controla a produtividade do estuário, pois constatou-se que o silte influencia na retenção de carbono orgânico pois apresenta uma correlação positiva sendo que a areia tem uma correlação negativa mas o seu valor em modulo é maior em relação a silte e argila.
- ✓ Com as curvas granulometrias entende-se que ocorre uma alteração no tamanho dos sedimentos ao longo da profundidade isto é, durante o holoceno ocorreram dentro do estuário alterações na dinâmica deposicional dos sedimentos, ou uma alteração entre períodos de alta energia, onde o sedimento depositado era mais fino e períodos de baixa energia onde o sedimento depositado era mais grosso constituindo assim períodos de alta e baixa produtividades no estuário de Macuse.

## **7 Recomendações**

O estuário de rio Macuse é um local promissor para mais estudos sobre a paleoambiente ou paleoceanografia, devido à sua localização relativamente abrigada e sedimentos bem preservados que se acumularam continuamente desde tempos pretéritos.

Os futuros projectos devem se concentrar em testemunhos (core) mais longos assim como a datação para melhoria na localização dos acontecimentos ao longo do tempo geológico e aplicação de multi-proxy.

## 8 Bibliografia

- Alejandra, G. P, Bariani, L., Costa, K. B., e Toledo, F. A. (2011). Santos Basin Paleoproductivity during the last 15 kyr. *Paleontologia*, pp. 332-341.
- Amanda, R. B., Clark., M., & Birch, G. (2017). Physical and Chemical Factors to Consider when Studying Historical Contamination and Pollution in Estuaries. In W. Kaarina, K. M. Saunders., G. A. Peter, & C. G. Skilbeck (Ed.), *Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies, Developments in Paleoenvironmental*.
- Andrade, P. C. (2011). Variações de paleoprodutividade na plataforma continental interna ao largo de Itajaí-SC (26°59'16.8''S - 048°04'33.6''W) durante o Holoceno: uma abordagem de multi-indicadores. São Paulo: Universidade de São Paulo Instituto Oceanográfico.
- Boggs, S. (1987). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. University of Oregon.
- Brummer, G., & Van, E. A. (1992). Blue-ocean paleoproductivity estimates from pelagic carbonate mass accumulation rates . *Marine Micropaleontology*, , 99-117.
- Burdige, D. J. (2007). *Preservation of Organic Matter in Marine Sediments: Controls, Mechanisms, and an Imbalance in Sediment Organic Carbon Budgets?* Virginia.
- Denis, G. O. (2004). Caracterização bio-sedimentológica e proposta de setorização das lagoas de Camacho & Garopaba do Sul e Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC .
- Dymond, J. (1992). Barium in deep-sea Sediment: Geochemical Proxy for paleoproductivit. *American Geophysical Union*, 7(paleoceanography), 163-181.
- Elliott, M., & Quintino, V. (2007). The Estuarine Quality Paradox, Environmental Homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin* , 640–645.
- Fernandes, M. G. (1999). *Estatística aplicada*.

- Francois, R. (2008). ocean paleoproductivity. 643-651.
- Fritzen, L. B. (2007). Composição, origem e grau de enriquecimento do material orgânico sedimentar no setor norte do sistema estuarinolagunar do rio itapocu, sc. Florianópolis-SC: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Gyllencreutz, R., Mahiques, M. M., Alves, D. V., & Wainer, I. K. (2010). Mid- to late-Holocene paleoceanographic changes on the southeastern Brazilian shelf based on grain size records. *The Holocene*, pp. 863–875.
- Hillaire, C. M., & Vernal, A. D. (2007). Proxies in late Cenozoic Paleoceanography (Vol. 1). Canada: Geotop-Universite du Quebec Montreal.
- Hiner, C. A., Kirby, M. E., Bonuso, N., Patterson, W. P., Palermo, J., & Silveira, E. (27 de September de 2016). Late Holocene hydroclimatic variability linked to Pacific forcing: evidence from Abbott Lake, coastal central California. *Paleolimnol*, pp. 299–313.
- John, H. I., & Richard, G. K. (1995). Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry*, 49, pp. 81-115.
- Kathryn, T., Krystyna, S., Kaarina, W., Peter, G., & Skilbeck, G. (2017). Introduction to the Application of Paleoecological Techniques in Estuaries. In K. n. Weckstrom, K. M. Saunders, & P. A. Gell, *I Application of Paleoecological Techniques in Estuarine Studies* (pp. 1-687).
- Lamb, A. L., Wilson, G. P., & Leng, M. J. (01 de December de 2006). A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using  $^{13}\text{C}$  and C/N ratios in organic material. Elsevier, pp. 29–57.
- McAnally, W. H., & Mehta, A. J. (s.d.). Coastal Zones and Estuaries – Sediment Transport in Estuaries.
- Mercer, J. L., Zhao, M., & Colman, S. M. (2005). Seasonal variations of alkenones and U in the Chesapeake Bay water column. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* .

- Meyers, P. A. (1997). Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic,. Elsevier, 213±250.
- Meyers, P. A., e Bernasconi, S. M. (2005). Carbon and nitrogen isotope excursions in mid-Pleistocene sapropels from the Tyrrhenian Basin: Evidence for climate-induced increases in microbial primary production. *Marine Geology*, 220, pp. 41-58.
- Michel, M. M. (1998). Características da matéria orgânica sedimentar da plataforma continental interna e média entre a Baía da Guanabara (RJ) e São Francisco do Sul (SC). São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.
- Michel, M. M., Yasufumi, M., e Rodrigues, M. (5 de October de 1999). Characteristics of the sedimentary organic matter on the inner and middle continental shelf between Guanabara Bay and São Francisco do Sul, southeastern Brazilian margin. pp. 775—798.
- Michelle, A. (2008). Paleoprodutividade costeira da região de Cabo Frio, Rio de Janeiro ao longo dos últimos 13.000 anos cal AP. Tese de doutoramento, Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geoquímica, Niterói.
- Miguel, L. L., Nehama, F. P., e Castro, J. W. (2017). The Mechanics of transport of sediments in suspension in . revista Brasileira de Geomorfologia.
- Mooy, B. A., Keil, R. G., e Devol, A. H. (2002). Impact of suboxia on sinking particulate organic carbon: Enhanced carbon flux and preferential degradation of amino acids via denitrification. *Geochimica et Cosmochimica* , p. 66.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Grimalt, J. O., & Sanchez-Vidal, A. (2004). Millennial-scale variability in the productivity signal from the Alboran Sea record, Western Mediterranean Sea. *elsevier/palaeo*, 205–219.
- Nagai, R. H. (2009). Variações de paleoprodutividade na plataforma interna de Cabo Frio, RJ, durante o Holoceno. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. São Paulo: Universidade de São Paulo.

- Nixon, S. W. (1997). Prehistoric Nutrient Inputs in Narragansett Bay. *Estuaries*, 20,, 253-261.
- Norström, E., Risberg, J., Gröndahl, H., Holmgren, K., Snowball, I., Mugabe, J. A., et al. (2012). Coastal paleo-environment and sea-level change at Macassa Bay, southern Mozambique, since c 6600 cal BP. *Quaternary International*, pp. 153-163.
- Oliveira, T. S., Barcellos, R. L., Schettin, C. A., & Camargo, P. B. (2014). Modern sedimentary processes and the distribution of organic matter in a tropical estuarine system, Recife, PE, Brazil. *Integrated of Coastal Zone Management*.
- Paytan, A. (2006). Ocean Paleoproductivity. *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Gornitz, V. (Ed). *Encyclopedia of Earth Science Series*. Kluwer Academic Publishers.
- Peter Scanes, A. F. (2017). Estuary Form and Function: Implications for Palaeoecological Studies. *Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies, Developments in Paleoenvironmental*, pp. 9-43.
- Pichevin, L., Bertrand, P., Boussafir, M., & Disnar, J. R. (2004). Organic matter accumulation and preservation controls in a deep sea modern environment: an example from Namibian slope sediments. *organic geochemistry*, 543-559.
- Pillon, C., Mielniczuk, J., & Neto, L. M. (2002). *Dinâmica da Matéria Orgânica no Ambiente*. Embrapa, Pelotas, RS.
- Pinet, P. R. (2009). *Invitation To Oceanography: Biological productivity in the ocean*. Jones and Bartlett publishers, 338-375.
- Purnachandra, R., & Parthasara, C. (2016). *Estuarine and Marine Geology*. India: National Institute of Oceanography.

- Ribeiro, M. A. (2008). Determinação Da Origem Da Matéria Orgânica Sedimentar Através De Marcadores Moleculares Lipídicos (Álcoois Lineares E Esteróis) No Sistema Lagunar Mundaú-Manguaba – Al. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niteroi.
- Robert, A., & Gisela, W. (2005). Problems with paleoproductivity proxies. *Paleoceanography*, 20.
- Santos, C. T. (2010). Reconstrução das condições paleoambientais e paleoclimáticas no estuário do Tejo durante o Holocénico (~ 12000 anos). Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto, Ciências do Mar– Recursos Marinhos , Porto.
- Scanes, P., Ferguson, A., & Potts, J. (2017). Estuary Form and Function: Implications for Palaeoecological Studies. *Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies, Developments in Paleoenvironmental*, pp. 9-43.
- Siqueira, G. W., Braga, E., Mahiques, M., & Aprile, F. M. (2006). Determination of organic matter, and C/N and C/S ratios in bottom sediments at Santos estuary, São Paulo State, Brazil". *Labomar*.
- Skilbeck, G. C., Andrew, H. D., & Woodroffe, C. D. (2017). *Geology and Sedimentary History of Modern Estuaries*. In W. Kaarina, K. M. Saunders, P. A. Gell, & C. G. Skilbeck (Ed.), *Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies, Developments in Paleoenvironmental Research* 20. Springer Science.
- Strachan, K. L., Finch, J. M., Hill, T., & Barnett, R. L. ( 2013). A late Holocene sea-level curve for the east coast of South Africa. *East coast sea-level reconstruction*, pp. 1-9.
- Strachan, K. L., Finch, J. M., Hill, T., & Barnett, R. L. (2013). A late Holocene sea-level curve for the east coast of South Africa. *East coast sea-level reconstruction*, p. 9.
- Tyson, R. (1995). abundance of organic matter in sediments: toc, hydrodynamic equivalence, dilution and flux effects. pp. 81-118.

- Windham, L., & Meyerson, L. (2003). Effects of common reed (*Phragmites australis*) expansions on nitrogen dynamics of tidal marshes of the northeastern U.S. *Eustaries and Coasts*, pp.452-464.
- Yang, S., Tang, M., Yim, W. W, Zong, Y., Huang, G., Switzer, A. D., et al. (2010). Burial of organic carbon in Holocene sediments of the Zhujiang (Pearl River). *Marine Chemistry*, 1-12.
- Yoshikazu, S., e Eiji, M. (13 de April de 2001). C/N ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, southwest Japan usefulness as an organic source indicator. *Geochemical Journal*, 35, pp. 205-189.
- Zarriess, M., e Mackensen, A. (27 de Maio de 2010). The tropical rainbelt and productivity changes off northwest Africa: A 31,000-year high-resolution record. *Marine Micropaleontology*, pp. 76-91

## 9. Anexo

Tabela 4: Classificação da correlação em função do coeficiente de Pearson (r). Adaptado: (Fernandes, 1999)

Coeficiente de Correlação	
$r = 1$	Perfeita positiva
$0.8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0.5 \leq r < 0.8$	Moderada positiva
$0.1 \leq r < 0.5$	Fraca positiva
$0 < r < 0.1$	Infinita positiva
$r = 0$	Nula
$-0.1 < r < 0$	Infinita negativa
$-0.5 < r \leq -0.1$	Fraca negativa
$-0.8 < r \leq -0.5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0.8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa