



## **Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

**Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha**

# **Estudo da distribuição dos minerais pesados existentes nos bancos de areia do Estuário dos Bons Sinais**

**Autora:**

Mércia Manuel Chico João

Quelimane, Novembro de 2017



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 distribuição dos minerais pesados  
existentes nos bancos de areia do Estuário dos  
Bons Sinais**

**Autora:**

Mércia Manuel Chico João

**Supervisor:**

Msc. Noca Bernardo Furaca

Quelimane, Novembro de 2017

## **Dedicatória**

Dedico aos meus finados pais pela vida e por zelarem por mim onde quer que eles estejam, ao meu querido amado esposo Paulo Macamo pelo apoio incondicional, pelos puxão de orelhas e pelo seu amor mesmo estando à milhas de distância sempre se fez presente, aos meus irmãos Amélia, Pedro, Rafaela João e ao meu primo Joaquim Pepete pela força que sempre me deram.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me conceder a vida, pelos conhecimentos, pela esperteza e pela força para conquistar todos os meus objectivos.

O meu profundo agradecimento vai ao meu supervisor MSc. Noca Bernardo Furaca pelo apoio moral, científico e pela paciência que teve durante todas as etapas da elaboração deste trabalho.

Os meus agradecimentos especiais vão para o meu esposo Paulo Macamo, meus irmãos Amélia, Pedro e Rafaela, ao meu primo Joaquim Pepete e aos meus cunhados Salomão Matusse, Sérgio, Rogério e Pedro Macamo pela força, encorajamento e apoio ao longo da minha carreira estudantil. Aos meus sobrinhos Tony, Malindi, Raquel e Gift endereço-lhes o meu muito obrigada.

Aos funcionários da ESCMC ao senhor Máquina, a Arsénia Maria e ao dr. Falume, aos meus colegas que me ajudaram na colecta das amostras Sérgio Caetano, Lucas Muhai e Soraia, ao Dr. Nguenha por me ceder o laboratório de sedimentologia do departamento de geologia de Maputo, ao Dr. Emílio e ao senhor Lionel técnico de laboratório pela ajuda e ensinamentos na realização das análises deste trabalho.

A todos docentes da ESCMC pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos ao longo dos quatro anos, meu muito obrigada.

Aos meus companheiros desde o primeiro ano que sempre me apoiaram e me levantaram nos momentos altos e baixos da minha carreira estudantil Erasnes Honwana, Balbina Siteo e Atália Bombe.

Aos meus colegas do curso Edson Muianga, Agostinho Da Silva, José Xieo, Sérgio Caetano, Balbina Siteo, Alberto Sibie, Adérito Mause, Erasnes Honwana, Flávio Jeje, Catarina Mambule, Samuel Chichava, Lucas Muhai, António Guzia, Norton Cossa, Nelson Sufiante, Lourindo Ouanho, Gulamo Bonga, Camacho Melo, Fernando Niquice, Cecílio Matsumane, Raimundo Loieque, Germano Nigalube, Zunchane Matola, Jordão Tsamba, Paulo Nota, vai o meu obrigada.

O meu obrigada vai a alguns colegas de oceanografia em especial ao Ernesto Tembe, Sebastião Mariquele, Abudo Suamado, Jonas Chambo, Cesárdio Macamo, José Nhacudima pela força.

As minhas amigas Criscência, Ivete, Clara, Palmira, Guéssifa, Filó, Adelaide, Yolanda e Guida por acreditarem e me apoiarem, obrigada. E aos que directo ou indirectamente contribuíram de alguma forma meu obrigada. Meu muitíssimo obrigada a todos.

## **Declaração de honra**

Declaro por minha honra que este trabalho de licenciatura nunca foi apresentado na sua essência ou parte do mesmo para obtenção de qualquer grau académico, e que constitui resultados da minha autoria ou investigação pessoal estando indicadas na bibliografia as fontes usadas na elaboração do mesmo.

Quelimane, Novembro de 2017

---

(Mércia Manuel Chico João)

## **Resumo**

O presente trabalho fez-se nos bancos de areia presentes ao longo do estuário dos Bons Sinais, cujo objectivo era de conhecer os minerais pesados existentes nos sedimentos do mesmo. Foram colhidas ao todo trinta (30) amostras de sedimentos, nas quais foram identificados sete minerais pesados dentre eles os pesados leves como o caso de quartzo, albite e moscovite que pode também ser considerado pesado pesado, e os minerais pesados pesados o enstatite, titanite, o topázio e o columbite e estes dois últimos são considerados gema ou pedra preciosa. O quartzo e a albite se encontram distribuídos em todos os bancos, isto pode estar associado a sua cristalografia, densidade, estabilidade e resistência ao intemperismo, e os restantes minerais devido a sua densidade, alguns por estarem associados aos sedimentos imaturos e por serem raros faz com que estes não se encontrem distribuídos em todos os bancos que existem ao longo do estuário dos bons sinais. O quartzo foi o mineral que apresentou maior percentagem de 54.2% apesar da albite ter tido o superado noutros pontos como no banco do porto e no banco do chuabo dembe, este que teve a percentagem de 50%, o enstatite que so foi identificado no banco do porto com 26.4%, isto pode estar associado ao tipo de sedimento argiloso que o compõe, moscovite com 21.9%, titanite com 18.5%, topázio com 10.2% e por último a columbite com apenas 1.2% . As percentagem variam de cada ponto de amostragem e referenciar que os minerais pesados ocorrem em fracções finas.

E no que diz respeito a velocidade das correntes de maré obteve-se valor de 0.16 m/s na vazante da maré viva onde ocorre mais transporte de sedimentos podendo de certa forma contribuir na distribuição dos minerais pesados no estuário.

## Abstrat

## Lista de abreviaturas

<b>Silga</b>	<b>Significado</b>
ESCMC	Escola Superior das Ciências Marinha e Costeiras
DRX	Difratómetro de raio x
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
GPS	Sistema de Posicionamento Global
P1V	Ponto Um Vertical
P1H	Ponto Um Horizontal
Å	Angstrom
I	Intensidade
m/s	Metros por segundo
µm	Microméetro
%	Percentagem
Wt	Weight (peso)

## Lista de figuras

**Figura 1:** Localização geográfica da área de estudo

**Figura 2:** Local de colecta de dados. Fonte: Google Earth ( Editado)

**Figura 3:** pá usada para a colheita das amostra e o correntómetro para a determinação das correntes de maré

**Figura 4:** Instrumentos usados na preparação e clivagem das amostras no laboratório

**Figura 5 :** Derivação da lei de Bragg.  $\theta$  é o ângulo da radiação incidente com o plano de átomos em análise,  $d$  é a distância entre planos e  $ABC$  o percurso extra que a radiação difractada pelo átomo B tem de percorrer.

**Figura 6:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia da aquapesca.

**Figura 7:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia da aquapesca.

**Figura 8:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia do chuabo dembe.

**Figura 9 :** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia do chuabo dembe.

**Figura 10:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia do porto.

**Figura 11 :** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia do porto.

**Figura 12:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia da praia das gazelas.

**Figura 13 :** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência  $\theta$  do banco de areia da praia das gazelas.

**Figura 14:** gráfico da velocidade da corrente de maré em função do tempo maré viva.

**Figura 15:** gráfico da velocidade da corrente de maré em função do tempo maré morta.

### **Lista de tabelas**

**Tabela 1:** Ilustrativa das coordenadas dos pontos de colecta de dados.

**Tabela 2:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da aquapesca p1v.

**Tabela 3:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da aquapesca p1h.

**Tabela 4:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do chuabo dembe p1v.

**Tabela 5:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do chuabo dembe p1h.

**Tabela 6:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do porto p1v.

**Tabela 7:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do porto p1h.

**Tabela 8:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da praia das gazelas p1v.

**Tabela 9:** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da praia das gazelas p1h.

# Índice

Dedicatória.....	i
Agradecimentos .....	ii
Declaração de honra.....	iv
Resumo .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrat .....	vi
Lista de abreviaturas .....	vii
Lista de figuras.....	vii
Figura 2: Local de colecta de dados. Fonte: Google Erth ( Editado) .....	viii
Índice.....	x
1. Introdução e objectivos .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Objectivos.....	3
1.2.1. Objectivo Geral.....	3
1.2.2. Objectivos Específicos .....	3
1.2.3. Hipóteses .....	3
2. Revisão da literatura.....	4
2.1. Minerais Pesados .....	4
2.2. Caracterização dos minerais pesados encontrados nos bancos de areia do Estuário .....	5
2.2.1. Descrição dos minerais pesados leves presentes nos sedimentos do estuário dos bons sinais	5
2.2.2. Descrição dos minerais pesados pesados presentes nos sedimentos do estuário dos bons sinais	6
2.3. Transporte de sedimentos.....	8
2.3.1. Classificação das mares e transporte de sedimentos.....	8
2.3.2. Caracterização das correntes de maré no canal de Chuabo Dembe.....	10
3. Metodologia.....	11
3.1. Descrição da área de estudo .....	11
Tabela 1: Ilustrativa das coordendas dos bancos de areia .....	12

Figura 2: Local de colecta de dados. Fonte: Google Erth ( Editado) .....	12
3.2. Materiais .....	12
3.3. Trabalho de campo.....	13
3.4. Análises laboratoriais .....	14
3.4.1. Análise granulométrica .....	15
3.4.2. Análise mineralógica (Difracção de Raio X) .....	16
3.4.3. Tratamento de dados.....	18
4. Resultados.....	19
4.1. Identificação dos diferentes tipos de minerais existentes nos sedimentos do Estuário dos Bons Sinais.19	
4.2. Quantificação dos minerais pesados existentes nos sedimentos do Estuário dos Bons Sinais .....	25
4.3. Transporte de sedimentos no estuário dos bons sinais .....	29
5. Discussão.....	31
5.1. Transporte de sedimentos no estuário dos bons sinais por correntes de maré .....	32
6. Conclusão e recomendações.....	33
6.1. Conclusão .....	33
6.2. Recomendações .....	33
7. Referências bibliográficas .....	34

## **1. Introdução e objectivos**

### **1.1.Introdução**

Segundo Bates & Jackson (1980) minerais pesados são minerais detríticos oriundos das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, tendo peso específico maior que 2,85 g/cm<sup>3</sup> e comumente formando constituintes menores ou minerais acessórios das rochas em geral. Estes apresentam um peso específico maior do que os minerais mais comuns das rochas sedimentares, como feldspato e quartzo, cujo peso específico é de 2,6 g/cm<sup>3</sup> (Suguio, 1980).

A quantidade dos minerais pesados em um determinado local depende da sua abundância na área fonte e da intensidade do processo de transporte, que inclui a sua capacidade de resistência ao intemperismo à abrasão e a sua segregação devido a diferença na densidade e forma. Estes minerais podem ser pesados "pesados" e pesados "leves" (Sousa, 2007).

O ouro, o diamante, a cassiterita e a platina têm peso específico bastante alto (6,8 a 21 g/cm<sup>3</sup>) e, devido a esta característica, não apresentam efetivo deslocamento sob acção dos agentes de transporte. Por esta razão são considerados pesados "pesados" e são encontrados próximos à rocha fonte ao longo dos canais fluviais. Como minerais pesados "leves" são conhecidos, entre muitos outros, a ilmenita, o rutilo, o zircão e a monazita, os quais possuem peso específico relativamente baixo (2,9 a 5,3 g/cm<sup>3</sup>), o que permite o seu transporte a maiores distâncias, podendo atingir zonas litorâneas de alta energia, onde são concentrados em depósitos denominados de pláceres, (Dias, 2004)

Os pláceres são acumulações sedimentares formadas pela concentração mecânica de minerais detríticos de valor econômico, incluindo diversos bens metálicos ou pedras preciosas, originados a partir do intemperismo e erosão de rochas-fonte, principalmente ígneas, mas também de rochas metamórficas e sedimentares (Sousa, 2007).

Os minerais pesados são reconhecidamente importantes indicadores de processos sedimentares, uma vez que a sua presença em determinados depósitos, sejam continentais, costeiros ou marinhos, sugere a intensidade e a duração do transporte sedimentar. Por isso a dispersão do material detrítico proveniente do intemperismo e erosão das rochas pode ser avaliada analisando-se a presença de assembleias de minerais pesados (Dias, 2004)

A sua concentração e volume, por outro lado, são parâmetros importantes que se destacam quando o objectivo da pesquisa está focado na prospecção mineral.

Dyer (1997) define estuário como um corpo de água costeiro semi-fechado, com ligação livre com o oceano aberto, que se estende ao longo do rio até a influência da maré, no interior do qual a água do mar é diluída pela água doce oriunda da drenagem continental. Nos estuários a quantidade de minerais proveniente da parte continental é resultado da degradação das rochas pré-existentes, sendo esta uma das fracções mineralógicas mais expressiva nesses ambientes (Correia *et al.*, 2010).

Os estuários são ambientes sedimentares costeiros cuja evolução depende da interacção entre parâmetros geomorfológicos, sedimentares e hidrodinâmicos. A parte sedimentar é determinante nas análises mineralógicas dos sedimentos por difractómetro de raios-x, visto que os sedimentos estuarinos apresentam areia, silte e argila que em alguns casos predominam sobre o mineral particulado (Lima *et al.*, 2015).

Os minerais pesados na sua maioria, tem um valor económico elevado e a sua ocorrência depende principalmente do interperismo que uma rocha mãe sofre, processo este que determina a classe e o tipo de mineral. E porque na maioria das vezes, a exploração dos mesmos é em ambientes marinhos, a ocorrência dos minerais pesados deveria constituir um dos dados a ser observado, quando feitas campanhas de colheita de dados de um ambiente estuarino. Por tanto a não consideração do mesmo para o efeito constitui a problemática do presente trabalho, por outra não ha informação específica sobre a abundância e distribuição dos minerais pesados no Estuário dos Bons Sinais sendo este o primeiro estudo no mesmo e no curso de geologia marinha.

Pretende-se com este estudo conhecer informações sobre os tipos e a abundância de minerais pesados no Estuário dos Bons Sinais. Além disso, conhecendo-se as espécies dos minerais pesados é possível executar mapeamentos sedimentológicos, correlacionar com formações geológicas e área fonte dos sedimentos, estabelecer uma reconstituição paleogeográfica e até mesmo explorar esses minerais – alguns de grande valor económico – uma vez que os mesmos podem concentrar-se em determinadas áreas. Conhecendo se as concentrações de minerais pode-se estimar a quantidade dos mesmos em cada local extraídos ou colhidos. Sendo este

trabalho pioneiro a estudar as concentrações dos minerais pesados poderá contribuir significativamente como auxílio aos trabalhos futuros na área de geologia marinha.

O presente trabalho tem como objectivo estudar a distribuição dos minerais pesados existentes nos bancos de areia do Estuário dos Bons Sinais. Identificar os minerais pesados, quantificar os mesmos e distinguir o padrão de transporte dos sedimentos.

## **1.2.Objectivos**

### **1.2.1. Objectivo Geral**

Avaliar a distribuição dos minerais pesados existentes nos sedimentos do Estuário dos Bons Sinais.

### **1.2.2. Objectivos Específicos**

- Identificar os diferentes tipos de minerais pesados existentes nos sedimentos;
- Quantificar os minerais pesados existentes nos sedimentos;
- Determinar os padrões de transporte dos sedimentos estuarinos.

### **1.2.3. Hipóteses**

O estudo parte do pressuposto de que:

Os minerais pesados estejam distribuídos de forma equitativa ao longo do Estuário dos Bons Sinais.

A quantidade dos minerais nos sedimentos seja significativa.

## 2. Revisão da literatura

### 2.1. Minerais Pesados

Designam-se por "*minerais pesados*" os grãos mineralógicos (principalmente da areia), provenientes de rochas ígneas e metamórficas, onde ocorrem normalmente de forma acessória, cuja densidade é superior a 2,9, isto é, superior à do quartzo (2,65) e à dos feldspatos (2,56 a 2,76). Como os minerais pesados podem ter origem primária numa vasta gama de rochas, onde ocorrem muito disseminados (isto é, como minerais acessórios), o seu estudo revela-se particularmente interessante. A presença de determinadas espécies nos sedimentos pode ser utilizada como traçador da origem desse sedimento e, conseqüentemente, como indicador da dinâmica sedimentar. As concentrações de minerais pesados são consideradas nos estudos de proveniência e dispersão dos sedimentos, pois os mesmos são característicos de determinados tipos de rochas fontes (Sousa, 2007).

Nos minerais pesados incluem-se muitas espécies mineralógicas, quer opacas, quer transparentes, e outros provenientes da alteração destes, designados por alterites (cuja identificação mineralógica é difícil de efectuar). A razão minerais pesados / minerais leves varia muito com a fracção granulométrica observada (normalmente as fracções mais finas são mais ricas em minerais pesados), bem como de sedimento para sedimento. O conteúdo em minerais pesados na areia é, em geral, inferior a 2 %.

Embora os depósitos de pláceres sejam mais comumente de origem fluvial, os agentes de concentração também podem ser marinhos, eólicos ou glaciais. A formação dos pláceres de minerais pesados requer uma fonte primária que pode ser as rochas ígneas ou veios de minerais e envolve processos de erosão, transporte e concentração. O intemperismo, principalmente químico, atua liberando os minerais pesados, que são transportados pelos rios até o oceano, sendo as praias, a plataforma continental, os rios e os vales afogados os ambientes de deposição das jazidas de minerais pesados (Sousa, 2007).

## **2.2. Caracterização dos minerais pesados encontrados nos bancos de areia do Estuário**

### **2.2.1. Descrição dos minerais pesados leves presentes nos sedimentos do estuário dos bons sinais**

#### **Quartzo**

O quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) é um mineral abundante em sedimentos estuarinos por constituir a maior parte das rochas terrestre e por ser muito resistente ao intemperismo e ao desgaste físico, apresenta uma cristalografia hexagonal que lhe permite ser identificado pelo raios-x a partir de um comprimento de onda de 5,41 Å, ocorre como um mineral essencial em rochas graníticas, gnaisses e xistos (Klein, 2002). O facto de resistir ao intemperismo e possuir menor densidade e ser estável, permite o seu transporte a longas distâncias, chegando no estuário através dos cursos de água oriundos do interior das zonas continentais ou através de mecanismos antropogênicos, tais como processos erosivos oriundos de desmatamentos e dragagens dos canais (Barros *et al.*, 2015).

Em estuários, é mais comum encontrar nos sedimentos constituído por fracções de areia e de silte, em fases subcristalinas como a sílica biogênica que constitui a carapaça das diatomáceas nos mangais (Berrêdo *et al.*, 2008). Por possuir densidade 2,6 à 2,65g/cm<sup>3</sup> é considerado mineral pesado leve, (Sousa, 2007).

#### **Albite**

Albita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) é um mineral pertencente ao grupo dos feldspatos e é designado como um feldspato plagioclásio por se encontrar entre a série ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), expressando a maior composição dos feldspato comum, ele ocorre em rochas magmáticas e metamórficas, mas raro em rochas sedimentares porque se decompõe em argila e caulim. Possui uma cristalografia triclinica que lhe permite ser identificado pelo raios-x num comprimento de onda de 7,16 Å (Klein, 2002). Geralmente é encontrada em sedimentos mal seleccionados, uma vez que esse tipo de sedimentos sofre um transporte rápido e não possibilitam a acção do intemperismo químico, responsável pela separação dos minerais mais resistentes e esses sedimentos, sendo designados de sedimentos imaturos (Reis *et al.*, 2010). O albite também é um mineral pesado leve com densidade de 2,62g/cm<sup>3</sup>.

## **Muscovita**

Muscovita ( $KAl_3SiO_{10}(OH)_2$ ) é um mineral pertencente ao grupo das micas, tem uma cristalografia monoclinica (camadas paralelas) representada por cristais raros que lhe permite ser identificado pelo raios-x a partir de um comprimento de onda de 20 Å, tem uma ocorrência de minerais essenciais, manifestada em rochas graníticas e pegmatitas-graníticas (Klein, 2002). Essencialmente é um silicado de potássio, alumínio, sendo encontradas quantidades pequenas de ferro ferríco e ferroso, magnésio, cálcio, sódio, lítio, fluor e titânio. Em estuários se encontra na maior parte na fracção fina, visto que a falta de ferro (Fe) em sua composição não favorece as reações de oxidação tornando-a relativamente mais resistente ao intemperismo (Barros *et al.*, 2015). Ela pode ser considerada mineral pesado leve, assim como mineral pesado pesado por ela possuir densidade de 2,76 e 3,0g/cm<sup>3</sup>. Por possuir essa densidade permite o seu transporte.

### **2.2.2. Descrição dos minerais pesados presentes nos sedimentos do estuário dos bons sinais**

#### **Titanita**

Titanita [ $CaTiO(SiO_4)$ ] é um mineral nesossilicato, apresenta uma cristalografia monoclinica que lhe permite ser identificado pelo raios-x a partir de um comprimento de onda de 7,44 Å e ocorre como um mineral acessório em rochas ígneas ácidas, graníticas, gnaisses e xistos, rico em minerais ferromagnesianos, associado em minerais como quartzo, albite, anfíbola, escapolite, zircão, apatite e feldspatos é usado como gema e fonte de titânio (Klein, 2002). A sua ocorrência acessorial e densidade de 3,4 á 3,5g/cm<sup>3</sup> que não facilitam o seu transporte, condicionando desta forma baixa quantidade nos sedimentos do estuário, encontra-se em quantidades altas na fonte e baixa em direcção a boca do estuário (Correia *et al.*, 2010).

## **Topázio**

Topázio  $[Al_2SiO_4(F,OH)_2]$  é um mineral nesossilicato e é designado como um mineral gema ou pedra preciosa em toda sua variedade por possuir 8 de dureza na escala de Mohs, e uma variedade de cor (rosa, vermelha, laranja, verde, amarela, branca e castanha). Apresenta uma cristalografia ortorrômbica (formato de primas) que lhe permite ser identificado pelo raios-x a partir de um comprimento de onda de  $8,40 \text{ \AA}$ , ocorre como um mineral raro por se encontrar nas cavidades das lavas riolíticas frequentemente em rochas pegmatitas, favorecendo a sua associação em minerais como quartzo, mica, turmalina, fluorita, berilo, apatite e feldspatos (Klein, 2002).

As quantidades de topázio baixam na medida que é transportada pelas correntes em direcção a boca do estuário são altas na fonte por ele possuir densidade alta de  $3,3 \text{ g/cm}^3$ , olhando o estuário como um todo, a quantidade é muita baixa devido a ocorrência rara que o mineral possui (Berrêdo *et al.*, 2008). Este perfil raro do topázio, faz com que seja muito procurado e por ser economicamente importante em toda sua variedade, constatando grande valor económico no topázio imperial por possuir cores que variam do amarelo ao vermelho, e que, actualmente, é encontrado apenas em Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil e em Chundao Hill, no Paquistão (Sabioni & Costa, 2004).

## **Columbite**

Columbite (Fe) é um mineral carbonatitos ocorre frequentemente em rochas pegmatitas carbonatitos e silicatados, com dureza de 5 a 5,5 na escala de Mohs. Possui densidade de  $4 \text{ a } 4,4 \text{ g/cm}^3$ , apresenta cores preta por ser rico em ferro e os ricos em Manganés apresentam a cor marron à vermelho-escuro. Possui uma cristalografia ortorrômbica que lhe permite ser identificado pelo difratómetro de raio x num comprimento de onda de  $20 \text{ \AA}$ , (Niessen, 2010)

Segundo (POHL, 2013) citado por Moura, 2013 diz que columbite é definida por uma relação atômica  $Nb/Ta > 1$  e tantalita por  $Nb/Ta < 1$ , respectivamente. Na natureza, tantalita e columbite puras são desconhecidas. São membros finais teóricos de uma série em solução sólida, o grupo-columbita. Portanto, na literatura científica anglicana o termo técnico dos seus membros é *Columbite-Group Minerals*, símbolo CGM (POHL 2013). Isto por ele adotar muitos nomes, podendo estar associada a cassiterita e walfamita. Este mineral encontra-se em poucas quantidades e por ele ser instável e ser susceptível ao intemperismo, faz com que o seu transporte

não seja fácil, encontrando se geralmente próximo a área fonte, (Carvalho & Neves, 2017). O Nb como é tratado ocorre somente em África e no Brasil e é de elevado valor econômico, (Moura, 2013).

### **Enstatite**

Enstatite ( $MgSiO_3$ ) é um mineral de silicatos e inossilicatos, considerado gema lamelar e pertence a família das piroxênios. Ocorre nas rochas ígneas e metamórficas. Apresenta variedades de cores desde a cor branca, cinza, verde, amarelo e castanho por estar associado a um outro mineral o Ferrosillite ( $Fe_2Si_2O_6$ ). Possui cristalografia ortorrômbica que lhe permite ser identificado pelo difratômetro de raio x num comprimento de onda de 55 Å. É um mineral estável e resistente a altas temperaturas podendo se associar aos minerais biotite, quartzo, diopsida, magnetite, (Moura, 2013).

É usada como pedra preciosa menor, na variedade bronzite, chrome enstatite cheia de vegetação e hiperestesia rica em ferro. Com dureza de 5,5 na escala de Mohs e densidade de 3,26 a 3,28 g/cm<sup>3</sup>. É um mineral raro, pode ser encontrado na África na Tanzânia, Áustria, França e nos EUA, (Carvalho & Neves, 2017).

## **2.3. Transporte de sedimentos**

### **2.3.1. Classificação das marés e transporte de sedimentos**

Maré é a oscilação vertical da superfície do mar ou outra grande massa de água sobre a Terra, causada primariamente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e, em menor extensão do Sol sobre os diversos pontos da Terra (Miguens, 1994).

Conforme as periodicidades apresentadas pelas marés elas podem ser classificadas como: Maré semi-diurna quando ocorrem duas marés altas e duas marés baixas a cada 12 horas, maré diurna ocorre a cada 24 horas, uma maré elevada e uma maré baixa e marés mista combinação dos outros dois com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixa-mares (Thurman, 1994).

A corrente de maré é a componente horizontal do movimento da partícula, enquanto a maré é a manifestação pela componente vertical. A observação da corrente de maré pode ser considerada

o resultado da combinação de muitas ondas de maré, cada qual pode variar de uma onda progressiva a uma onda estacionária com diferentes períodos, comprimentos, fases e direcções (King, 1975).

As correntes de maré têm um carácter rotatório, em virtude da interacção entre as forças astronómicas e a influência da rotação terrestre. De fato, o efeito de Coriolis, devido à rotação da Terra, tende a desviar as correntes de maré para a direita no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul, concorrendo, juntamente com as próprias forças astronómicas, para a génese de correntes rotatórias (Miguens, 1994).

Os estuários destacam-se entre os principais ambientes deposicionais costeiros da história geológica recente, possuindo uma diversidade de morfologias devido às diferentes formas de interacção dos fluxos de energia gerados pelas ondas, marés e descarga fluvial (Miranda *et al.*, 2002). As marés e as ondas também alimentam o estuário com sedimentos, geralmente mais grossos, provenientes dos oceanos (Bell *et al.*, 2000). O transporte de sedimentos nos estuários é bastante diferente em relação ao que se passa no resto do rio. Nestes ambientes, a descarga fluvial encontra a maré, e a corrente desta assume um papel gerador de turbulência. A partir deste momento existe apenas um pequeno período de tempo entre a subida e a descida da maré cuja turbulência é mínima, nesse intervalo de tempo, os sedimentos mais pesados têm a possibilidade de se depositarem no leito do estuário (Delgado, 2011).

À medida que a corrente volta novamente a aumentar, as partículas elevam-se para a coluna de água, mas ao contrário da água doce que continua a escoar-se ao longo do estuário na camada superior, as partículas estão agora na camada mais baixa da circulação estuarina, onde o movimento médio da água é do oceano em direcção a montante. Portanto, uma parte dos sedimentos nunca chega a alcançar o mar e acumula-se no estuário numa região situada perto de onde o rio entra no estuário (Tomczak, 2000).

De acordo com (Oliveira, 2010), a magnitude das correntes de maré dependem basicamente de factores como assimetria, amplitude e morfologia do local de propagação, e maioritariamente as velocidades máximas desta corrente em estuários e canais podem ser observadas aproximadamente no meio da enchente e da vazante da maré.

Os sedimentos permanecem em suspensão devido à turbulência, mas a sua concentração na coluna de água varia fortemente com a maré. Durante a vazante existe uma maior concentração de sedimentos relativamente à enchente, o que sugere que nem toda a quantidade de sedimentos volta com a enchente da maré; uma pequena parte parece capaz de avançar em direcção à embocadura (Tomczak, 2000).

### **2.3.2. Caracterização das correntes de maré no canal de Chuabo Dembe**

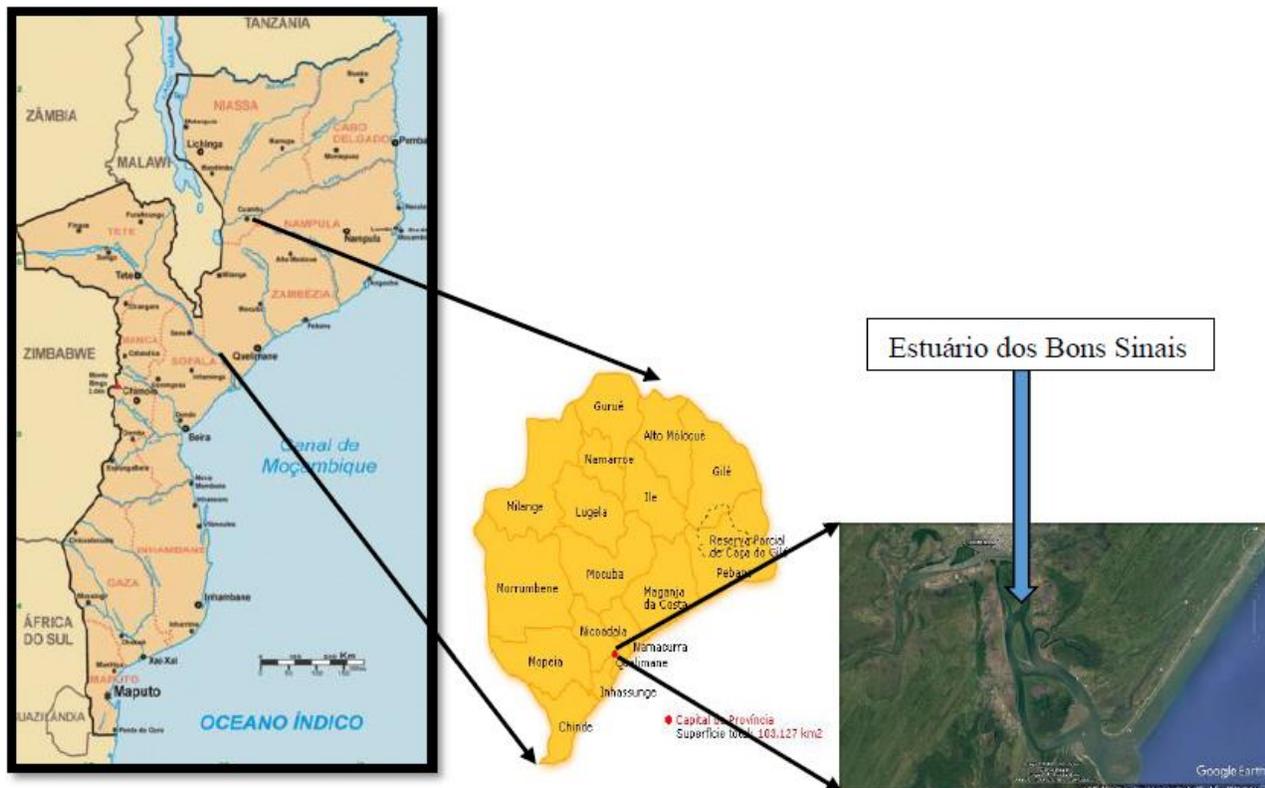
As marés ao longo do Estuário realizam dois ciclos completos, este facto está aliado ao factor forma ( $F < 0,0227$ ) e permite-nos classificar as marés como sendo semi-diurnas. As componentes semi-diurnas e diurnas controlam o ciclo das correntes de mare-viva e corrente de maré morta no canal (Filinho, 2009).

### 3. Metodologia

#### 3.1. Descrição da área de estudo

O presente trabalho foi feito ao longo do Estuário dos Bons Sinais, especificamente do Bairro do Chuabo Dembe à boca localizada na praia das Gazelas. O estuário dos Bons Sinais fica situado a este da província da Zambézia, com uma extensão de 27 km da boca a confluência e uma largura média de 200 m, constitui limite entre os distritos de Quelimane e Inhassunge. No extremo Oeste converge com os rios Cuacua e Licuar. É maioritariamente de fundo argiloso com profundidade média de 10 m. Ao longo da sua extensão estão presentes bancos de areia que na maré baixa, impossibilitam a navegação dos navios para entrada do porto de Quelimane (Mapai, 2015)

O estuário dos Bons Sinais apresenta as marés Semi-diurnas, atingem 4 m de altura (na maré viva), a salinidade na época seca atinge 35 ppm. É o grande ecossistema marinho entre o município de Quelimane e o distrito de Inhassunge e apresenta as temperaturas médias anuais de 24 a 26°C (Mapai, 2015)



**Figura1:** Localização geográfica da área de estudo

**Tabela 1:** Ilustrativa das coordenadas dos bancos de areia

Banco	Latitude	Longitude
Banco da Confluência	17°53'49.7" S	036°50'25.5" E
Banco de Chuabo Dembe	17°53'19.1" S	036°51'06.7" E
Banco do porto	17°52'45.1" S	036°52'01.4" E
Banco das Gazelas	17°59'43.3" S	036°57'18.6" E



**Figura 2:** Local de colecta de dados. Fonte: Google Erth ( Editado)

### 3.2.Materiais

- Correntómetro;
- Pá;
- Barco a remo (canoa), e o Barco a motor pertecente a Escola Superior de Ciencias Marinhas e Costeiras;
- Sacos plásticos para a conservacao das amostras;
- GPS IIIplus para a localização dos pontos de colheita das amostras;
- Marcador;
- Máquina fotográfica para o registo das imagens colectas;
- Google Earth;

- Peneira granulométrica para crivar as amostras;
- Estufa para a secagem das amostras;
- Difrátometro de raio-X da marca *Olympus*, modelo *BTXII*, para a identificação e determinação mineralógica;
- Fita isoladora;
- Água destilada;
- HCl (ácido clorídrico);
- Triturador;
- Espatula;
- *Software X Powder versão. 2010. 01. 35 pro*;
- Fita métrica;
- Balança analítica;

### **3.3.Trabalho de campo**

Esta etapa envolve a colheita de amostras de sedimentos de dois principais locais específicos: Bairro do Chuabo Dembe (em todos os bancos de areia localizados nesta zona) e na Praia das Gazelas isto na confluencia do Estuário dos Bons Sinais. A avaliação da hidrodinâmica fez-se em dois ciclos de maré, isto é, a primeira na enchente da maré viva e segunda na vazante. E no segundo ciclo que compreende a maré morta também nas duas fases: enchente e vazante. Esta etapa foi feita no mês de Junho.

Para coletar os sedimentos usou-se uma pá para abrir trincheiras de 30 cm de profundidade na forma vertical nos bancos de areia, para colher amostras de sedimentos na superfície e no fundo, isso na vazante (maré morta). Onde em cada trincheira (abertura no solo) colectou-se duas amostras, estas amostras foram colhidas do ponto baixo, médio ao ponto alto em cada banco distando entre se por 100m. Em Seguida colocou-se cada amostra em um saco plástico rotulado para facilitar a identificação do lugar onde foi feita a colheita e usou-se um GPS para a marcação dos pontos de amostragens em termos de latitude e longitude. E para medir as correntes e mares que são os que influenciam o transporte de sedimentos usou-se um mareógrafo.



**Figura 3:** Pá usada para a colheita das amostra e o CTD para a determinação das marés

### **3.4. Análises laboratoriais**

Nesta etapa as amostras de sedimentos foram submetidas as análises granulométricas e mineralógicas descritas a seguir.

Apos a colheita as amostras foram conservadas no laboratório de solos da ESCMC ( Escola Superior das Ciencias Marinhas e Costeiras) onde passaram por uma secagem a uma temperatura de 60°C no periodo de 24h.

Depois de secas, as amostras foram levadas ao laboratório de sedimentologia no departamento de Geologia na Faculdade de Engenharia em Maputo onde procedeu-se as análises.

### 3.4.1. Análise granulométrica

#### Preparação das amostras e eliminação dos carbonatos presentes nos sedimentos

Primeiro os sedimentos passaram por uma pesagem na balança, onde a quantidade usada foi de 20 gramas para cada ponto de amostragem, foram colocados em taras onde posteriormente foram embebidos (decantados) ou atacados com ácido clorídrico (HCl) de 3% e água destilada (peróxido de hidrogênio) usando-se uma vareta para misturar os sedimentos com o reagente e usou-se um Esguicho (Pinceta) com água destilada para lavar a vareta e os cantos da tara e deixou-se embebido por um período de 24 horas para eliminar os carbonatos. De seguida foram lavados com água destilada para retirar o ácido clorídrico e passaram por uma secagem na estufa por 24h à uma temperatura de 60°C.

#### Clivagem

Apos os processos de preparação e eliminação dos carbonatos as amostras foram submetidas ao processo de crivagem (peneiração) em uma peneira com fração de 150µm, onde as frações mais grossas foram trituradas com a espátula para facilitar a passagem dos mesmos na peneira. Obtendo-se assim a areia fina para posterior análise no DRX.



**Figura 4:** Instrumentos usados na preparação e clivagem das amostras no laboratório

### **3.4.2. Análise mineralógica (Difracção de Raio X)**

Após os procedimentos descritos acima os sedimentos extraídos nos bancos de areia foram submetidos a análise mineralógica por DRX. Por sua vez o DRX permite distinguir e quantificar os diferentes tipos de minerais pesados e as suas fases cristalinas presentes nos sedimentos, assim sendo, é uma ferramenta de extrema importância na área das Geociências. Trata-se de uma técnica não destrutiva que se baseia no modo como a estrutura cristalina de um mineral interage com os raios X, (Joanito, 2014)

Quando os raios X incidem numa substância com uma estrutura aleatória não cristalina, os raios X são dispersos em todas as direcções. Em contrapartida, se a substância possuir uma estrutura atômica ordenada com planos cristalinos bem definidos, ocorrerá interferência construtiva dos raios X (difracção). O efeito de difracção causado pelas células unitárias de cristais expostos a um feixe monocromático de raios X é traduzido pela chamada Lei de Bragg:  
 $n\lambda = 2d \sin \theta$ , (Joanito, 2014).

em que:

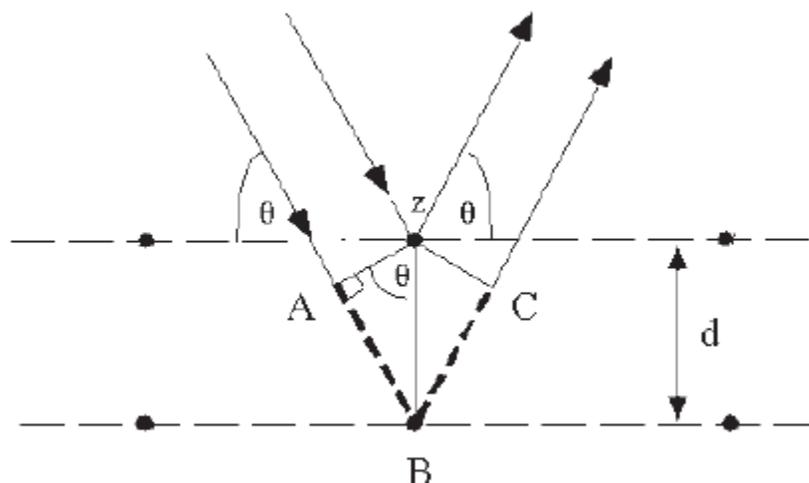
$n$  . é um nº inteiro, representando os harmónicos de  $\lambda$

$\lambda$  - é o comprimento de onda da radiação incidente

$d$  . é a distância reticular entre os planos sucessivos do cristal

$\theta$  - é o ângulo de Bragg ou ângulo de incidência dos raios X com o plano reticular.

Como as distâncias entre planos cristalinos sucessivos e a densidade de átomos ao longo desses planos são características únicas e específicas de cada espécie mineral, o padrão difractométrico equivale a uma impressão digital do mineral.



**Figura 5:** Derivação da lei de Bragg.  $\theta$  é o ângulo da radiação incidente com o plano de átomos em análise,  $d$  é a distância entre planos e  $ABC$  o percurso extra que a radiação difractada pelo átomo B tem de percorrer.

### Identificação dos diferentes tipos de minerais pesados

O difractómetro de raios-X utilizado para analisar as amostras é da marca *Olympus*, modelo *BTXII*. Onde os registos foram obtidos no intervalo de  $0^\circ$  a  $55^\circ$  com leituras de  $2\theta$  através do detector que captura as imagens da dispersão de raios-X, produzidas pela interacção cristalina do material.

A identificação foi obtida através da intensidade dos raios-x sobre a superfície cristalina de cada mineral (fase) e com auxílio do *software X Powder versão. 2010. 01. 35 pro*, visto que este *software* contém uma base de dados com estrutura de cristal de mineralogistas Americanos (*American Mineralogist Crystal Structure [AMCS]*).

### Quantificação dos minerais pesados

Para quantificação, os minerais pesados foram determinados pela relação da razão de intensidade dos minerais com o padrão completo das análises. E com auxílio do *software X Powder versão. 2010. 01. 35 pro*, já que este possui um pacote completo composto por método de razão de intensidade de referência (*Reference Intensity Ratio [RIR]*).

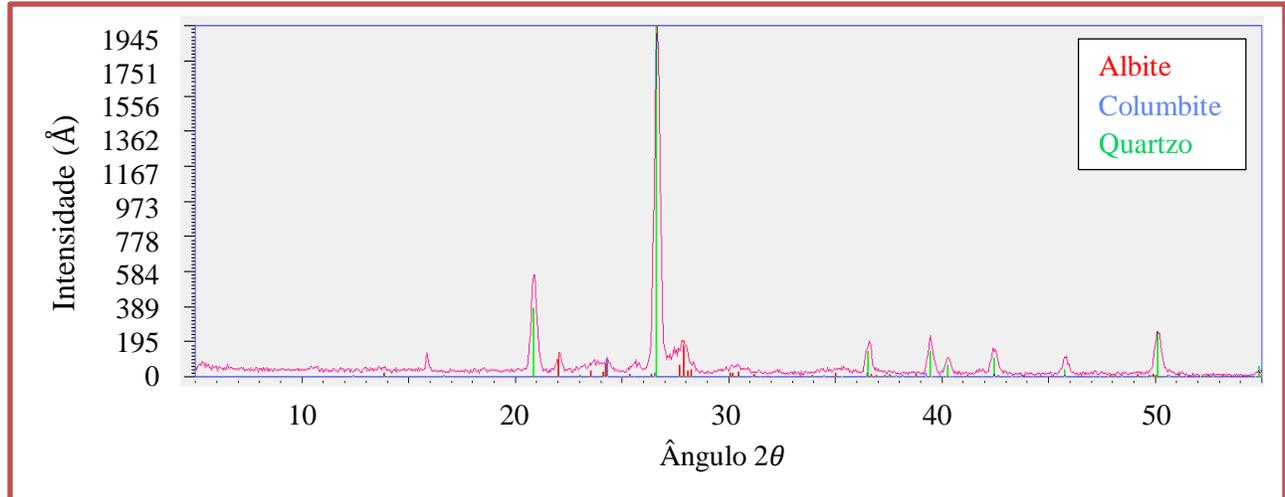
#### 3.4.3. Tratamento de dados

O *software X powder* permite a obtenção de gráficos por conversão de imagens bidimensionais em um quadro de análises por correlação entre intensidade e energia, por sua vez permitiu a conversão da energia em função de ângulos  $2\theta$  para uma correlação com os dados provenientes do difractómetro. O método de razão de intensidade de referência foi convertido em tabelas pelo *software X powder*, permitindo a obtenção dos resultados em forma de gráficos e tabelas para a identificação e determinação dos minerais respectivamente.

## 4. Resultados

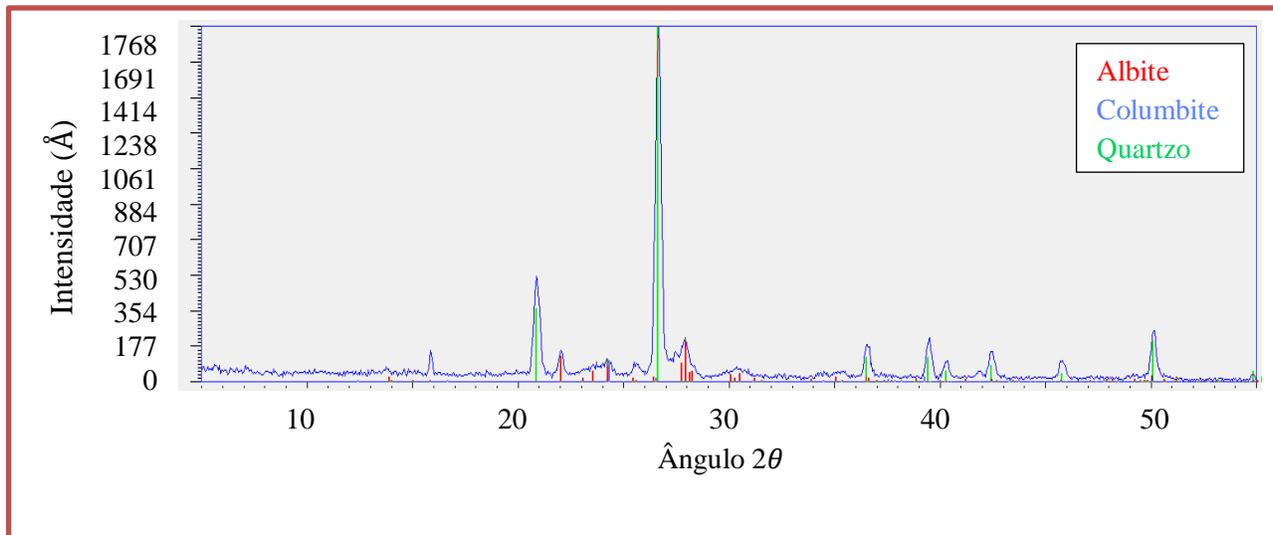
### 4.1. Identificação dos diferentes tipos de minerais existentes nos sedimentos do Estuário dos Bons Sinais.

Através de um difratômetro de raio x, foi possível verificar que os sedimentos do Estuário dos Bons Sinais exactamente nos bancos de areia que foram os locais de amostragem são constituídos por sete (7) minerais. O Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), Albite ( $\text{AlSi}_3$ ) e ( $\text{NaAl}$ ) são os mais abundantes, Muscovite ( $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), Titanite ( $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$ ), Topazio ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ), Enstatite [ $\text{Mg,Fe}$ ] $\text{SiO}_3$  e Columbite [ $(\text{Fe,Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ ], este que geralmente é constituído por dois minerais e é designado por Columbita-Tantanita. Sendo o quartzo, albite e moscovite os mais encontrados em quase todos os bancos e os outros ocorrem em poucas percentagens ou simplesmente ausentes na maioria dos bancos. A figura 6, ilustra os picos de intensidade e o ângulo de incidência na vertical que variam de (5 Å à 196 Å) e (25° à 54°), (7 Å à 1945 Å) e (0° à 55°) e (9 Å à 1945 Å) e (21° à 55°), correspondente ao columbite, albite e quartzo respectivamente.



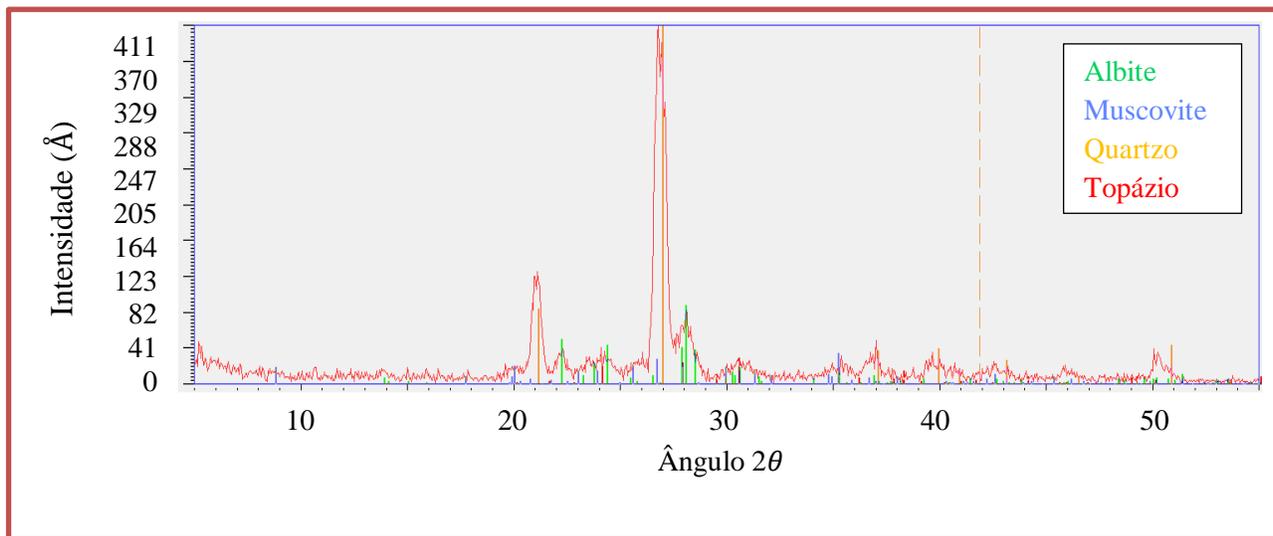
**Figura 6:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom (Å), em função dos ângulos de incidência PIV do banco de areia da Aquapesca.

No mesmo banco ilustrado pela figura 7, na posição horizontal os valores da intensidade assim como do ângulo de incidência dos minerais columbite e albite variaram, tendo o columbite os picos que variam de (9 Å à 1768 Å) e (0° à 55°), (1 Å à 177 Å) e (14° à 55°) são os valores referente aos picos de intensidade e ângulo de incidência do albite e os valores do ângulo de incidência do mineral quartzo são (5 Å à 1768 Å) e (21° à 55°). Sendo o quartzo o mineral com maiores valores e o mais abundante neste banco.



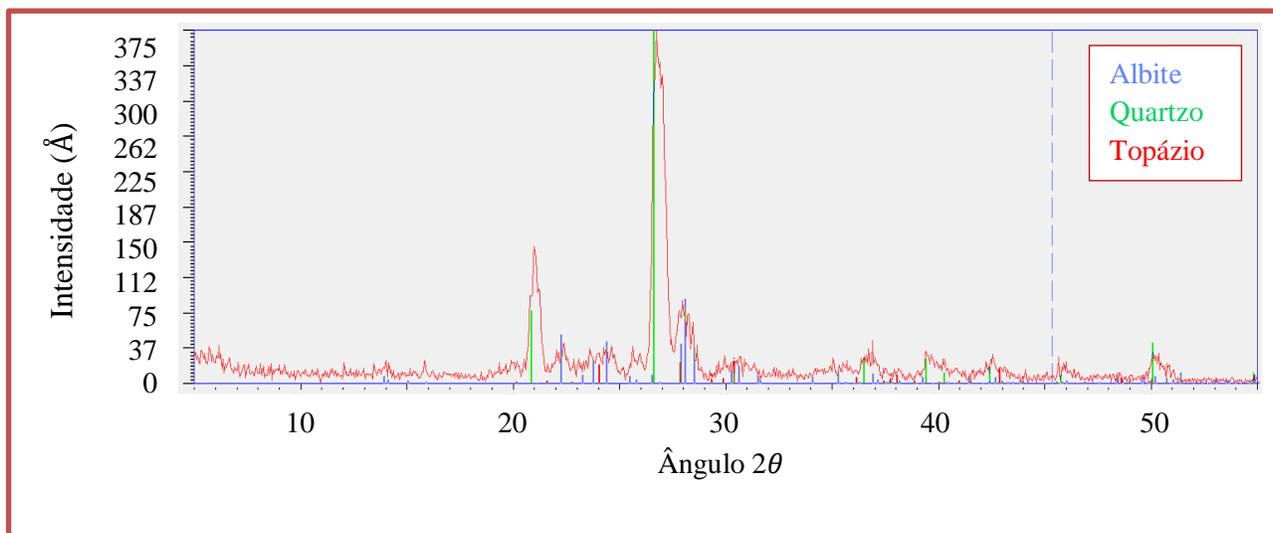
**Figura 7:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom (Å), em função dos ângulos de incidência P1H do banco de areia da Aquapesca.

Na figura 8, do banco de areia do chuabo dembe o quartzo continua sendo o mineral representativo e o mais abundante, tendo maiores valores referentes aos picos de intensidade e ângulo de incidência variando de (82 Å à 411 Å) e (21° à 51°), seguido de topázio com a intensidade e ângulo de incidência de (43 Å à 411 Å) e (0° à 55°), o albite com intensidade e ângulo de incidência variando de (42 Å à 82 Å) e (22° à 53°) e o mineral com menor índice de reflexão foi a moscovite com os valores variando de (1 Å à 21 Å) e (9° à 55°), na posição vertical.



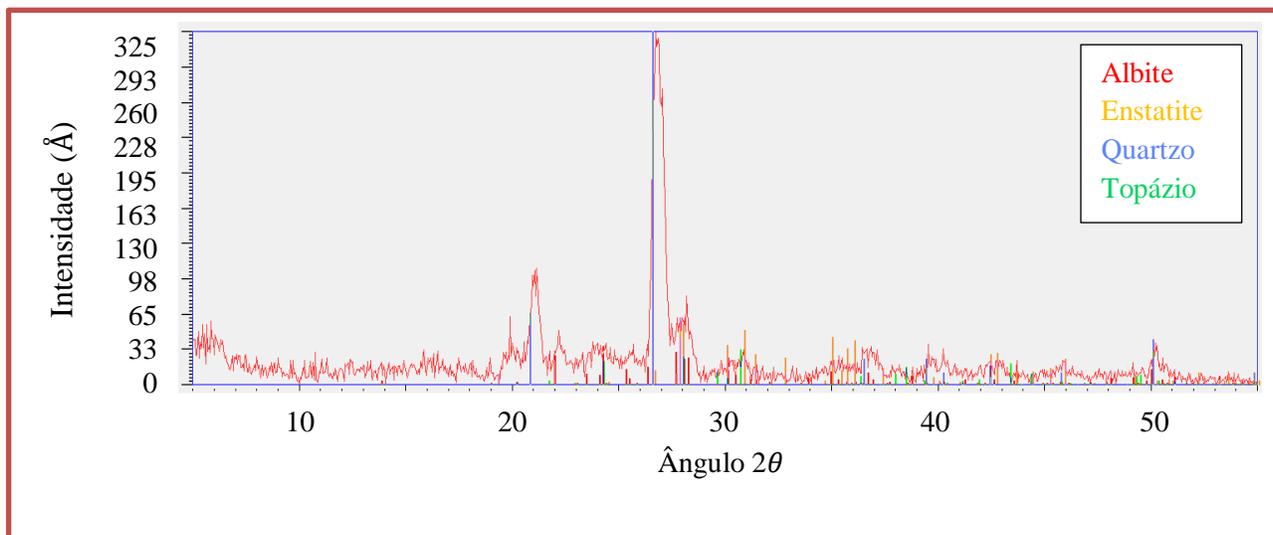
**Figura 8:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom (Å), em função dos ângulos de incidência PIV do banco de areia do Chuabo Dembe

Horizontalmente que é representado pela figura 9, o quartzo continua sendo o dominante com picos de intensidade e ângulo de incidência variando de (7 Å à 375 Å) e (21° à 55°), o topázio variando de (5 Å á 286 Å) e (0° à 55°) e por fim a albite mostrou baixos valores na reflexão que variam de (3 Å 57 Å) e (22° à 55°) respectivamente.



**Figura 9:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência P1H do banco de areia do Chuabo Dembe

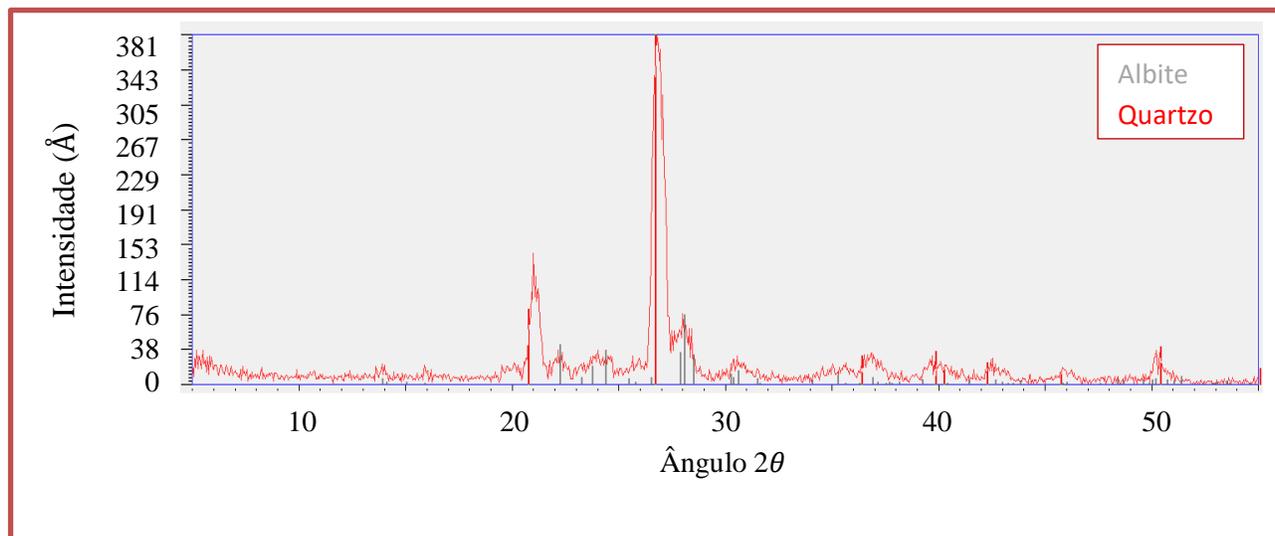
Constatou se uma alteração significativa do quartzo ao longo dos bancos, assim como em profundidade uma vez que na vertical a profundidade foi de 30 cm. Como pode se notar na figura 10, o mineral quartzo apresenta valores da intensidade assim como os do ângulo de incidência variarem de ( $7 \text{ \AA}$  à  $325 \text{ \AA}$ ) e ( $21^\circ$  à  $55^\circ$ ), sendo a albite o mineral com maiores frequências de reflexão variando de ( $9 \text{ \AA}$  à  $325 \text{ \AA}$ ) e ( $0^\circ$  à  $55^\circ$ ), a enstatite so foi difratada no banco do porto, devendo se isso ao tipo de sedimentos que o compõe tendo apresentado picos não elevados nas variações da intensidade e do ângulo de incidência respectivamente ( $4 \text{ \AA}$  à  $56 \text{ \AA}$ ) e ( $28^\circ$  à  $46^\circ$ ) e o topázio é o mineral que menos se evidenciou apresentndo picos que variam de ( $2 \text{ \AA}$  à  $35 \text{ \AA}$ ) e ( $29^\circ$  à  $50^\circ$ ).



**Figura 10:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom ( $\text{\AA}$ ), em função dos ângulos de incidência P1V do banco de areia do Porto

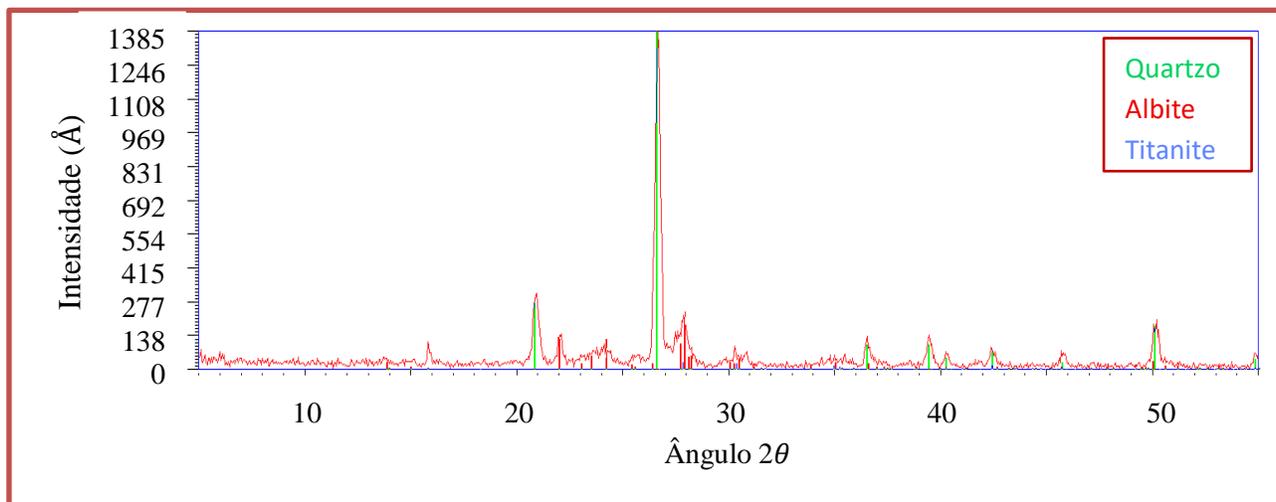
Na figura 11, Horizontalmente somente o quartzo e a albite é que foram encontrados uma vez que estes se encontram distribuídos em todos bancos, isto por possuírem boa estabilidade. O quartzo como sempre é o dominante apresentando picos de reflexão da intensidade assim como

do ângulo de incidência elevados. Os valores da intensidade variam de (8 Å à 381 Å) e (2 Å à 77 Å) e os valores do ângulo de incidência variaram de (0° à 55°) e (22° à 53°) respectivamente.



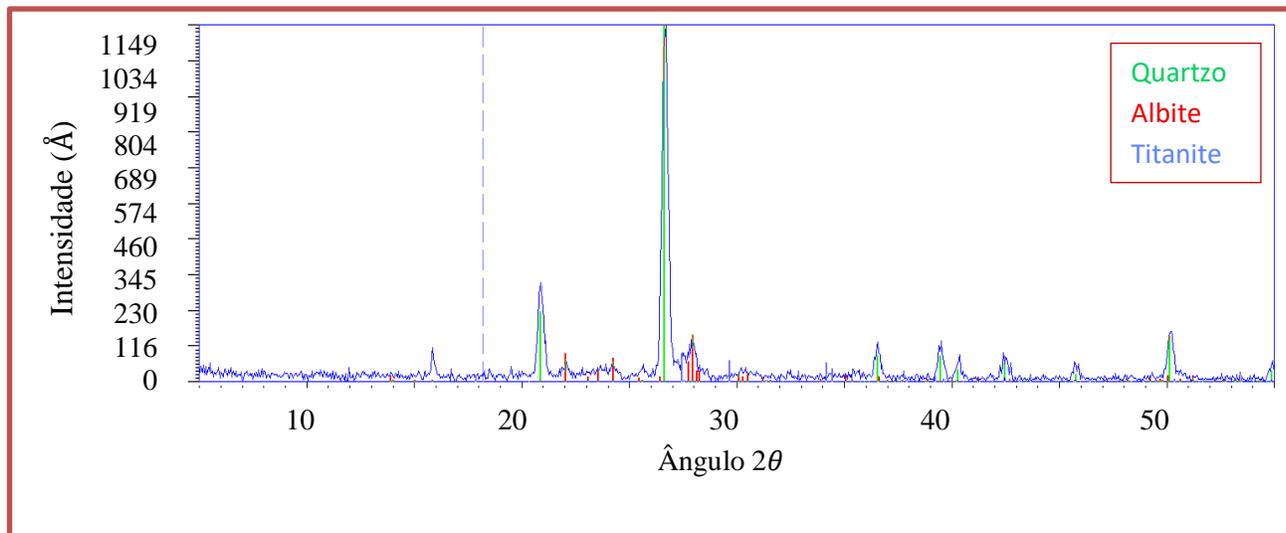
**Figura 11:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom (Å), em função dos ângulos de incidência P1H do banco de areia do Porto.

No banco de areia da praia das gazelas que é figura 12, o representa na posição vertical, a albite mostrou se ser a mais dominante mantendo os níveis de reflexão elevados. Os picos da intensidade variam de (12 Å à 1385 Å), sendo o quartzo o dominante em relação a titanite apresentando os valores da intensidade que variam de (9 Å à 1385 Å) e por fim a titanite que quase não se nota que apresenta picos ínfimos que variam de (1 Å à 30 Å) e os valores de ângulo de incidência para os referidos minerais foram (0° à 55°) para a albite, (21° à 55°) para o quartzo e por fim (28° à 50°) para a titanite.



**Figura 12:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom (Å), em função dos ângulos de incidência PIV do banco de areia da praia das Gazelas

Os minerais que ocorrem em todo estuário assim com os que mais foram encontrados em todos os bancos foi o quartzo e a albite, sendo o quartz o mais dominante apresentando picos elevados no que refere a intensidade e o ângulo de incidência variando de (20 Å à 1149) e (21° à 55°), sendo a titanite a mais dominante em relação a albite apresentando valores variando de (7 Å à 1140 Å) e (0° à 55°) e a albite foi o mineral com menores valores reflectidos variando de (3 Å à 116 Å) e (22° à 53°) respectivamente. Como está ilustrado na figura 13.



**Figura 13:** Intensidade de reflexão de raios-x em Angstrom (Å), em função dos ângulos de incidência P1H do banco de areia da praia das Gazelas

#### 4.2. Quantificação dos minerais pesados existentes nos sedimentos do Estuário dos Bons Sinais

De acordo com a leitura feita das tabelas, constatou-se que o quartzo e a albite apresentaram valores elevados e por serem os minerais que mais se evidenciaram em todos os bancos em relação aos outros minerais. Tendo algumas exceções em que o moscovite, topázio e titanite o superaram.

Para este caso o quartzo apresentou percentagem elevada de 54.2%, seguido da albite com 37.7% e por fim o mineral columbite com 1.3%, que por ele ser um mineral raro que vem associado à tantos outros minerais foi o que menos se evidenciou. Estes valores do quartzo assim como da albite não são constantes, variam em cada banco assim como em relação a posição vertical e horizontal.

**Tabela 2.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da aquapesca P1V.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
028957	Quartz= Si O2	1	1.000	14.76	59.7(0.4)	34.5	58.2(0.4)	54.2(0.4)
025049	Albite= (Na.98	1	0.100	2.25	39.2(1.4)	53.6	40.5(1.4)	37.7(1.3)
021740	Columbite= Fe	1	0.054	41.67	01.1(1.1)	137.8	01.3(1.3)	01.2(1.2)
	Global amorphous	1	0.036	0.50	07.3(2.7)			06.8(2.2)

**Tabela 3.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da aquapesca P1H.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
025052	Quartz= Si O2	1	1.000	14.05	55.3(0.5)	34.5	55.4(0.5)	51.1(0.4)
012289	Albite= (Al Si3)	1	0.120	2.14	43.6(1.5)	32.7	43.3(1.5)	40.0(1.4)
021740	Columbite= Fe	1	0.060	41.67	01.1(1.1)	138.4	01.3(1.3)	01.2(1.2)
	Global amorphous	1	0.042	0.50	08.3(2.8)			07.7(2.3)

Na tabela 3 as percentagens do quartzo continuam sendo as maiores com 51.1%, seguido da albite que apresenta 40.0% e por fim a columbite que manteve o mesmo valor de 1%.

**Tabela 4.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do chuabo dembe P1V.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
011707	Albite= Na Al	1	0.220	2.18	39.8(2.1)	32.7	38.8(2.1)	34.7(1.9)
019845	Topaz= Al2 Si O4	1	0.074	3.17	09.2(2.4)	30.9	08.9(2.4)	07.9(2.2)
011124	Muscovite= K	1	0.084	1.40	23.6(2.4)	51.6	24.5(2.4)	21.9(2.1)
010840	Quartz= Si O2	1	1.000	14.35	27.5(0.7)	42.8	27.8(0.7)	24.8(0.7)
	Global amorphous	1	0.060	0.50	11.9(3.2)			10.6(2.6)

Na tabela 4 o mineral que mais apresentou valores elevados é a albite com 34.7%, seguido do quartzo com 24.8%, de referir que estes dois minerais são os que se encontram distribuídos em todos bancos, seguido do mineral muscovite com 21.9% e por fim o topázio apesar dele também encontrar se em quase todos bancos.

**Tabela 5.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do chuabo dembe P1H.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
025052	Quartz= Si O2	1	1.000	14.05	35.1(0.8)	34.5	35.1(0.8)	30.9(0.7)
011664	Topaz= Al2 Si O4	1	0.070	3.12	11.0(2.7)	34.8	11.1(2.7)	09.8(2.4)
011707	Albite= Na Al	1	0.239	2.18	53.9(2.4)	33.9	53.8(2.4)	47.5(2.1)
	Global amorphous	1	0.067	0.50	13.4(3.4)			11.8(2.7)

Na tabela 5 a albite continua sendo o mineral com percentagens maiores com valores a atingirem os 47.5%, sendo o quartzo o segundo a apresentar uma percentagem significativa de 30.9% e o topázio com percentagem de 9.8%.

**Tabela 6.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do porto P1V.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
019846	Topaz= Al2 Si O4	1	0.100	3.22	12.3(3.2)	30.9	11.8(3.2)	10.2(2.7)
010850	Albite= Al1.005	1	0.190	2.33	32.5(3.0)	32.7	31.3(3.0)	27.0(2.6)
016656	Quartz= Si O2	1	1.000	14.74	27.1(1.0)	34.5	26.3(1.0)	22.7(0.8)
011777	Enstatite= Si2	1	0.190	2.70	28.1(3.0)	87.0	30.6(3.0)	26.4(2.6)
	Global amorphous	1	0.079	0.50	15.9(3.6)			13.7(2.8)

Na tabela seis temos presença de um mineral que não ocorre nos outros tendo tido percentagens significativas maiores em relação ao quartzo e topázio mas não maior que a albite com o valor a rondar nos 26.4%, a albite com 27.0%, o quartzo apresentou 22.7 e por último o topázio com a percentagem de 10.2%, salientar que a albite, o quartzo e o topázio encontram se distribuidos em todos os bancos apesar dos valores das percentagens destes variam de lugar para lugar.

**Tabela 7.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia do porto P1H.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
011707	Albite= Na Al	1	0.200	2.18	56.2(2.2)	32.7	56.0(2.2)	50.0(2.0)
027233	Quartz= Si O2	1	1.000	14.00	43.8(0.7)	34.5	44.0(0.7)	39.3(0.7)
	Global amorphous	1	0.060	0.50	12.0(3.2)			10.7(2.6)

A albite é o mineral que mais domina nos bancos de areia do Estuário dos Bons Sinais, apresenta na maioria dos pontos maiores percentagens em relação ao quartzo e aos outros minerais que o DRX quantificou. Tendo apresentado percentagem de 50.0% na tabela 7 e o quartzo com 39.3% respectivamente.

**Tabela 8.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da praia das gazelas P1V.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I %	Wt %
028957	Quartz= Si O2	1	1.000	14.76	48.2(0.4)	34.5	47.6(0.4)	44.4(0.4)
012289	Albite= (Al Si3)	1	0.130	2.14	43.3(1.4)	32.7	42.4(1.4)	39.5(1.3)
018317	Titanite= Ca Ti	1	0.080	6.71	08.5(1.4)	133.6	09.9(1.4)	09.3(1.3)
	Global amorphous	1	0.037	0.50	07.3(2.7)			06.8(2.2)

Na tabela 8 o mineral quartzo apresentou valores elevados em comparação a albite, com 44.4%, sendo a albite o segundo mineral com maior percentagem de 39.5% superando o titanite que apresentou percentagem de 9.3%.

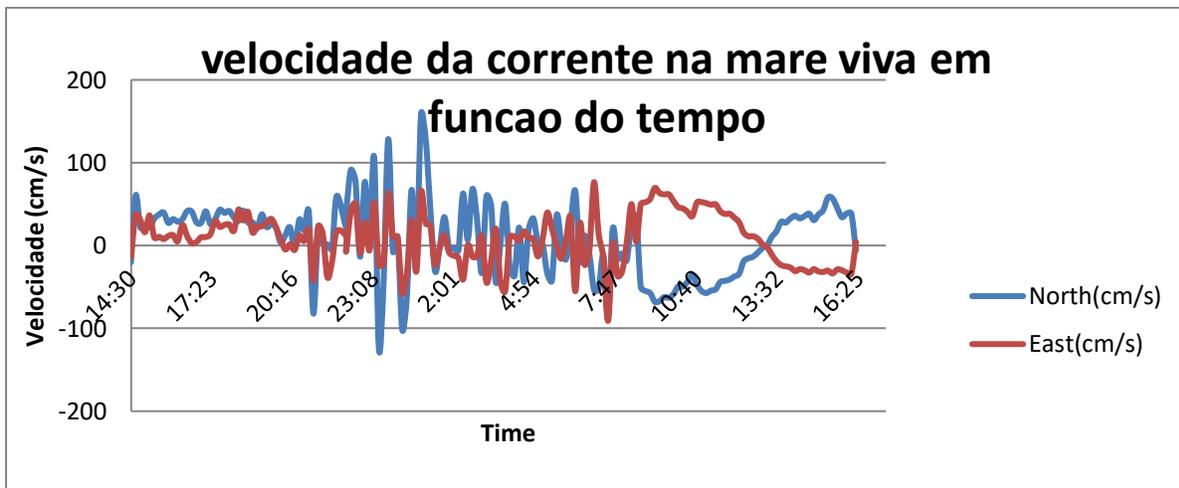
**Tabela 9.** Ilustração da determinação das fases (minerais) e suas percentagens do banco de areia da praia das gazelas P1H.

Set-Fil	Phase name	Q	Fract	RIR.	Weight	I/Ic	I%	Wt %
028957	Quartz= Si O2	1	1.000	14.76	37.5(0.5)	34.5	37.0(0.5)	34.3(0.4)
012289	Albite= (Al Si3)	1	0.170	2.14	43.9(1.4)	32.7	43.0(1.4)	39.9(1.3)
017471	Titanite= Ca	1	0.170	5.03	18.7(1.4)	63.1	20.0(1.4)	18.5(1.3)
	Global amorphous	1	0.039	0.50	07.8(2.7)			07.3(2.2)

Na tabela 9 a albite voltou a se destacar sendo o mineral com maior percentagem de 39.9% sendo o mineral mais dominante nos bancos de areia do estuário dos bons sinais, assim como o quartzo e o topázio são minerais que mais estão distribuídos nos bancos de areia sendo o valor do quartzo de 34.3% e 18.5% correspondente ao topázio.

#### 4.3. Transporte de sedimentos no estuário dos bons sinais

O gráfico 15, represente a velocidade das correntes de maré em função do tempo na fase da maré viva. O valor máximo foi de 0,16 m/s durante a vazante da maré viva, é nesta fase onde ocorre o maior transporte de sedimentos contribuindo desta forma na distribuição dos minerais pesados ao longo do estuário.



**Figura 14:** gráfico da velocidade da corrente de maré em função do tempo maré viva

Na figura 16, a intensidade da velocidade das correntes de maré verificou-se na fase da maré morta com o valor de 0.11 m/s na enchente da maré morta. Onde o transporte de sedimentos não verificou-se muito.

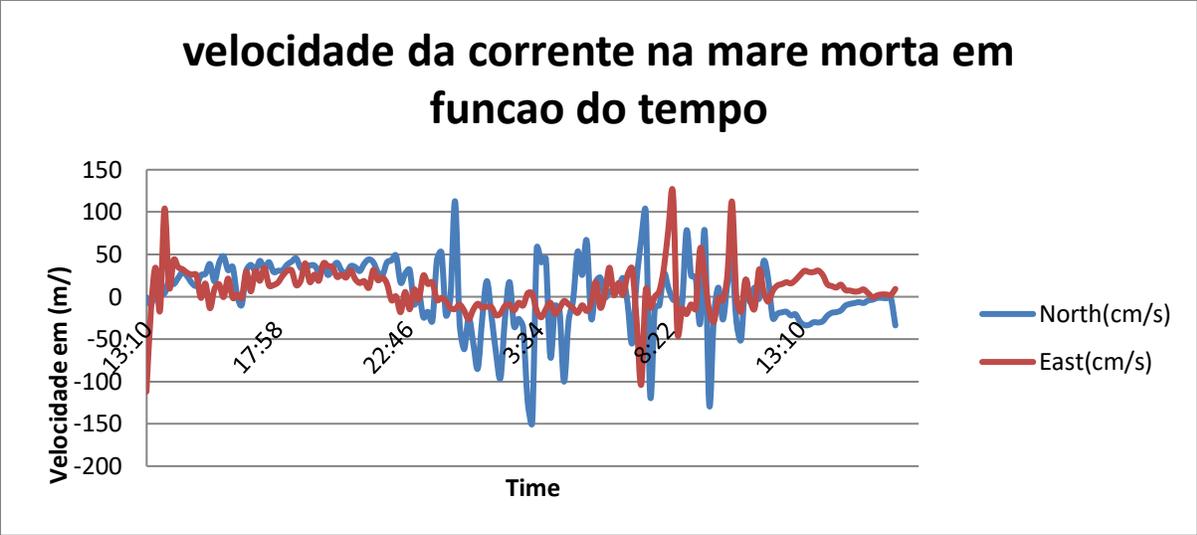


Figura 15: gráfico da velocidade da corrente de maré em função do tempo

## 5. Discussão

Durante a leitura e interpretação dos gráficos e tabelas verificou se que a albite e o quartzo foram os minerais que mais se destacaram, apresentando maiores picos nos gráficos e maiores percentagem nas tabelas. Para ambos deve se por eles apresentarem estabilidade e resistividade a abrasão e ao facto deles resistirem ao intemperismo, o que permite o seu transporte a longas distancias, (Reis *et al.*, 2010). Estes dois minerais encontram se distribuidos em todos os bancos existentes ao longo do Estuário dos Bons Sinais sem nenhuma excepção.

O columbite é um mineral que apresentou maiores valores de intensidade no difratograma, apesar dele se encontrar em poucas quantidades. Por ser um mineral instável, susceptível ao intemperismo e ter densidade maior, não permite o seu transporte à longas distâncias e limita a sua distribuição ao longo do estuário, encontrando se geralmente proximo à área fonte. Esta particularidade do mineral encontrar se próximo a fonte vai de acordo com os fundamentos que diz que o mesmo mineral é susceptível ao intemperismo, o que limita a sua distribuição (Carvalho & Neves, 2017).

O enstatite é um mineral estável e resistente à altas temperaturas, mais por ele estar associado a outros minerais como a biotite, o quartzo, a diopsida e a magnetite e por este ser raro apresentou pequenos valores da intensidade e do ângulo de incidência na figura 10, apesar de ter tido valor elevado na tabela 6 que ilustra a quantidade. Apesar do enstatite ser resistente à altas temperaturas e ser estável a sua associação e densidade limitam o seu transporte e consequentemente a sua distribuição, facto este que entra em concordância com os resultados obtidos por Moura (2013).

O topázio e a titanite apresentaram nalgumas vezes picos de reflexão elevados assim como baixos no DRX, mas eles encontram se em pequenas quantidades na leitura das tabelas. Isto pode estar associado ao facto do topázio possuir cristais de tamanho fino e ser um mineral raro na natureza e a titanite pode se dever por ele ser um mineral acessório e também possuir tamanho de partículas fina. O tamanho fino das partículas, não limita o seu transporte e distribuição ao longo do estuário. O topázio verificou se no banco do porto e do chuambo dembe e o titanite no banco das gazelas que se encontra na boca do estuário dos bons sinais.

Moscovita foi o mineral que apresentou picos da intensidade e ângulo de incidência baixos, tendo apresentado uma percentagem significativa na tabela que representa as quantidades. Por ele apresentar cristais raros e a falta de ferro (Fe) em sua composição não favorece as reações de

oxidação tornando-a relativamente mais resistente ao intemperismo (Barros *et al.*, 2015), isso permitiria o seu transporte e distribuição, mas este não é o caso dele.

### **5.1. Transporte de sedimentos no estuário dos bons sinais por correntes de maré**

As correntes de maré contribuem significativamente na distribuição dos sedimentos no estuário dos bons sinais. Na maré morta as maiores velocidades das correntes verificaram-se na enchente, na maré viva verificou-se no período da vazante. Isto pode estar associado ao facto do estuário ser dominado por marés. Neste tipo de estuários a água penetra aumentando a velocidade das correntes assim como, o seu tamanho ao longo dos anos ( Delgado, 2011).

O maior valor das correntes de maré verificou-se na vazante da maré viva com 0.16 m/s e o valor mínimo na enchente da maré morta 0.11 m/s. O facto das correntes de maré serem fortes na vazante em relação à enchente da maré está relacionado com a força geradora das correntes como a força de gravidade, a força exercida entre o sol e a lua e a topografia do canal, (Filinho, 2009).

O maior transporte de sedimentos ocorreu na vazante da maré viva, pois neste período que o canal sofre mais erosão, e na enchente os sedimentos se depositam.

## **6. Conclusão e recomendações**

### **6.1. Conclusão**

Com base na leitura e interpretação dos dados obtidos nos resultados e com base na discussão, obteve-se as seguintes conclusões:

- Os bancos de areia que se encontram ao longo do estuário dos bons sinais são constituídos por sete fases de minerais pesados: quartzo, albite, moscovite, titanite, enstatite, columbite e topázio.
- O quartzo, a albite e a moscovite são os minerais pesados leves, ocorrem como minerais essenciais.
- O enstatite, o columbite, o topázio e a titanite são considerados minerais pesados por possuírem densidades maiores que o mineral referencial o quartzo. Sendo o enstatite, o columbite e o topázio de acordo com as tabelas minerais raros.
- O topázio e o enstatite são gemas ou pedras preciosas e de elevado valor económico.
- O quartzo foi o mineral que apresentou maior valor na percentagem de 54.2% seguido por albite com 50%, enstatite com 26.4%, moscovite com 21.9%, titanite com 18.5%, topázio com 10.2% e por último a columbite com apenas 1.2%.
- O valor máximo das correntes verificou-se na vazante da maré viva, no que concerne ao transporte de sedimentos, sendo um dos elementos importantes na distribuição dos minerais.

### **6.2. Recomendações**

Para os próximos trabalhos recomendo que:

- ✓ Se faça o estudo dos minerais pesados usando outros instrumentos para além do drx;
- ✓ Se explore novas técnicas de colecta de amostras e novas áreas de pesquisa.

## 7. Referências bibliográficas

- Barros, L. C., Valença, L. M., & Neto, J. A. (2015). Composição Mineralógica da Fração Argilosa nos Sedimentos Superficiais de Fundo da Região Estuarina do Complexo Industrial e Portuário de Suape (Pe). Pp. 165-174.
- BATES, R.L. & JACKSON, J.A. 1980. Glossary of geology. Virginia: American Geological Institute. 750p.
- Bell, R., Green, M., Hume, T., Gorman, R. (2000). What Regulates Sedimentation in Estuaries?. Water & Atmosphere.
- Berrêdo, J. F., Costa, M. L., Vilhena, M. D., & Santos, J. T. (2008, Março). Mineralogia e Geoquímica de Sedimentos de Manguezais da Costa Amazônica: O Exemplo do Estuário do Rio Marapanim (Pará).Revista Brasileira de Geociências., 38 (1): 24-35.
- Chichava, S. (2017). Estudo de minerais presentes nos sedimentos superficiais do fundo do estuario dos Bons Sinais . Quelimane: UEM.
- Correia, V. R. (2010). Mineralogia e Geoquímica de Sedimentos Estuarinos das Ribeiras de Odelouca e Boina (Algarve, Portugal).Pp. 33-36.
- Dyer, K. R (1997). Estuaries, a Physical Introduction. John Wiley and Stones Ltda, 2aed, England. Pp.195.
- Delgado, A. L. S. A. P. (2011). Caracterização Hidrodinamica e Sedimentar do Estuario do Rio Minho. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.
- Filinho. C.B. (2009) Caracterização das correntes de mare no canal do Chuabo Dembe. Trabalho de licenciatura, UEM-ESCMC.
- King, C. A. M. (1975). Introduction to Physical and Biological Oceanography. Londres: Edward Arnold.

- Klein, C. (2002). Mineral Science. John Willey and Sons, ed. Vol. 22. Canadá.Pp. 430-475.
- Miguens, A. P. (1994). Navegação: A Ciência e a Arte. Vol. I: Navegação costeira, estimada e em águas restritas.
- Miranda, L.B.; Castro, B.M. & Kjerfve, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP. 424p.
- Oliveira, K. S. (2010). Comportamento da Maré e das Correntes de Maré em um Sistema Estuarino utilizando o modelo Regional Ocean Modeling System (ROMS). Vitória.
- Reis, C. D. N., Silva, O. F. M., & Santos, V. F (2010). Aspectos Sedimentológicos do Estuário do Rio Sucurijú Amapá (AP). Universidade Federal de Pará, Pará.
- Sabioni, A. C., & Costa, G. M. (2004). Comportamento do Mineral Topázio a Altas Temperaturas. Pp. 174.
- Souza, D. R. (2007). Distribuição dos minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu / SC e sua correlação sedimentar com a planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente. Florianopolis/sc.
- SUGUIO, K. 1980. Rochas sedimentares. São Paulo: Editora Blücher.
- TOMAZELLI, L.J. 1978. Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul. Acta geológica Leopoldensia, 5(2):
- Tomczak, M., (2000). Sediment Transport in estuaries.  
<http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/ShelfCoast/chapter17.html>