



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
2016

**Assane Luís Pena** **Caracterização Granulométrica, Mineralógica e  
Geoquímica dos Sedimentos da Embocadura do Porto  
da Figueira de Foz**

**Granulometric, Mineralogical and Geochemical  
Characterization of the Sediments from the Inlet Area  
of the Figueira da Foz Harbor**



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
2016

**Assane Luís Pena** **Caracterização Granulométrica, Mineralógica e Geoquímica dos Sedimentos da Embocadura do Porto da Figueira de Foz**

***Granulometric, Mineralogical and Geochemical Characterization of the Sediments from the Inlet Area of the Figueira da Foz Harbor***

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, Ramo de Recursos Geológicos, realizada sob a orientação científica de Professor Doutor Luís Filipe Fuentefria de Menezes Pinheiro, Professor Associado da Universidade de Aveiro e com co-orientação do Professor Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha, Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

O Júri

Presidente

Prof. Doutor Jorge Pessoa Girão Medina

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Paulo Manuel Cruz Alves da Silva  
(Arguente)

Professor Auxiliar na Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Filipe Fuentefria de Menezes Pinheiro  
(Orientador)

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho às memórias de: meus pais Luís Pena e Ana Assane Caugy, meus irmãos Joaquim Pena e José Luís Pena, meu tio Augusto Jaime, meu primo Luís Augusto Jaime, e ao amigo e concunhado Alcides Ossufo Omar.

Que as suas almas descansem em paz!

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo fôlego da vida e por permitir que esse sonho fosse concretizado, mesmo em linhas tortas, iluminou-me e criou incentivos para a minha perseverança.

Expresso os meus agradecimentos às pessoas e instituições que contribuíram para a concepção, desenvolvimento e conclusão deste estudo.

Endereço um agradecimento especial à minha família, pelo todo apoio e carinho incansável demonstrado ao longo de todas as fases da minha formação. Mesmo distantes de mim, sempre acreditarem deste generoso sonho. Devo ainda um destaque agradecimento, ao meu irmão António Luís Pena, que incansavelmente esteve a par de todas as situações enfrentadas no seio familiar, muitas vezes dolorosas, mas que sempre soube solucionar-los com serenidade e confiança. Endereço também um especial agradecimento aos meus conterrâneos Alberto Malapira Mutombo e Miguel Mutindire, e as respetivas famílias, pelo todo apoio, carinho e lições da vida inesquecíveis.

À Universidade Pedagógica de Moçambique (UPM), em particular, à Delegação da Beira, e à Universidade de Aveiro (UA), Portugal, pela atribuição da bolsa, que permitiu a concretização desta formação, que hoje é um complemento indispensável na minha carreira académica e profissional.

Endereço um agradecimento especial ao Professor Doutor Luís Filipe Fuentefria de Menezes Pinheiro, Professor Associado da Universidade de Aveiro, e ao Professor Doutor Joaquim Fernandes Tavares Rocha, Professor Catedrático na Universidade de Aveiro, por terem aceitado orientar-me neste presente estudo. O especial agradecimento especial estende-se também ao Professor Eduardo Silva, Professor Catedrático na Universidade de Aveiro. Os fundamentos, as sugestões e as críticas construtivas em todas as fases da concepção e desenvolvimento deste trabalho foram pertinentes para a concretização deste trabalho, particularmente as instruções dos ensaios laboratoriais. Faltam-me palavras de apressamento por tanto carinho, paciência e compreensão demonstrada com prontidão. Pela vossa instrução, me sinto realizado academicamente e com maturidade profissional acrescida!

Aos meus colegas da UPM (G7) integrados na Turma de MEG-UA, 2014/2016, pelo contributo prestado nesta etapa de formação.

Aos Professores do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, Jorge Medina, José Francisco Santos, Senos Matias, Fernando Almeida, Maria do Rosário, Beatriz Aguado, Cristina Bernardes, Nuno Cruz, aos investigadores e técnicos, em especial ao Dr. Nuno Durães, a Dra. Carla Patinha, a Eng.<sup>a</sup> Denise, a Eng.<sup>a</sup> Cristiana, o Eng.<sup>o</sup> João, o Sr. João Julião, Sr.<sup>a</sup> Cristina Andrade, a Sra. Paula Cruz. Muito obrigado pelo apoio prestado. Os agradecimentos estendem-se também aos Professores Doutores Paulo Miranda e Maria Virgínea Martins pelos comentários sugeridos e as partilhas de experiências.

Por fim, endereçar os meus agradecimentos a todos que direta e indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

**A TODOS MUITO OBRIGADO!**

**Palavras-chave:**

Granulometria, mineralogia, geoquímica, sedimentos, sonar de varrimento lateral, embocadura, Porto de Figueira da Foz.

**Resumo**

A cobertura sedimentar numa determinada região representa importantes papéis, promovendo benefícios naturais, económicos e sociais como elemento de extrema importância para o desenvolvimento humano. Mas, pode promover prejuízos económicos e sociais e ambientais se a sua exploração for incorretamente gerida. Por isso, o conhecimento das suas características e processos intervenientes contribuem para potenciar um bem-estar dos cidadãos.

No âmbito de um projeto de investigação sobre a dinâmica sedimentar na embocadura do porto da Figueira da Foz realizado pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto de Aveiro e da Figueira da Foz (APAFF S.A.), concebeu-se e desenvolveu-se a presente dissertação de mestrado, com objectivo principal de efetuar a caracterização granulométrica, mineralógica e geoquímica dos sedimentos de fundo da embocadura do Porto da Figueira da Foz, e com o intuito de dar um contributo para a sua classificação para fins de dragagem e sua eventual utilização. Para realização deste estudo foram utilizados dados geofísicos (sonar de varrimento lateral) e amostras de sedimentos do fundo em 36 pontos que tinham sido colhidos com uma draga Petit Ponar, numa área cerca de 4 km<sup>2</sup> adjacente à embocadura do Porto da Figueira da Foz, no litoral centro de Portugal. Os trabalhos laboratoriais consistiram em análises granulométricas, utilizando a série de peneiros ASTM por via seca nas amostras arenosas, e crivo por via húmida no peneiro <63 µm nas amostras areno-lodosas. Os resultados granulométricos foram submetidos a análises estatísticas pelo *software* GRADISTAT V.8. Os finos (<63 µm) de 14 amostras foram utilizados para análises mineralógicas por DRX e geoquímicas pelo Método 3050B (digestão parcial ácida de sedimentos). A leitura dos metais foi feita por ICP-MS. A fração <2 mm foi utilizada para análises de matéria orgânica, carbonatos e densidade relativa. Os resultados foram submetidos a análises estatísticas em modo R e Q utilizando o *software* Statistic V.12, e cartografados em *software* ArcGis 10.1. Os resultados granulométricos apontam que a área de estudo tem o predomínio de sedimentos arenosos em 94,6%, contendo uma quantidade escassa de finos e de cascalhos. Estes sedimentos arenosos estão divididos em 4 classes: areia fina (38,89%), areia média (36,11%), areia grosseira (13,89%) e areia muito fina (11,11%). São moderadamente calibrados (47,22%), com uma distribuição simétrica (44,44%), mesocúrtica (33,33%), e com uma densidade média de 1,63 g/cm<sup>3</sup>. A utilização de dados de sonar de varrimento lateral calibrados com os dados granulométricos das amostras pontuais de sedimentos da área de estudo, permitiu obter uma cartografia detalhada de vários tipos de sedimentos de fundo na área de estudo e identificar 4 zonas de distribuição espacial. Os finos encontram-se mais afastados e nas zonas mais profundas da embocadura. A mineralogia da fração sedimentar <63 µm de 14 amostras analisadas revela o predomínio de quartzo em 54,74%, seguido por filossilicatos (20,43%), plagioclase (10,26%), feldspato potássico (7,60%), calcite (3,14%), halite (1,10%), anidrite (1,02%). Os minerais siderite, pirite, dolomite, magnetite e hematites são vestigiais nas amostras analisadas. No que respeita à classificação destes sedimentos com vista ao seu potencial aproveitamento como materiais dragados, os resultados geoquímicos obtidos mostram que, apesar de as concentrações da maior parte dos elementos analisados ser compatível com a Classe 1 (ausência de contaminação) existe no entanto um importante enriquecimento de Cd em várias amostras, pelo que os sedimentos foram classificados em 4 classes: Classe 5 (muito contaminado), Classe 4 (contaminado), classe 2 (contaminação vestigial), e Classe 1 (ausência de contaminação).

## Keywords

Granulometry, mineralogy, geochemistry, sediments, sidescan sonar, inlet, Figueira da Foz Harbor.

## Abstract

The sedimentary cover in a given region represents important roles, promoting natural, economic and social benefits as an element of extreme importance for human development. But it can also promote economic and social and environmental damage if its exploitation is incorrectly managed. Therefore, the knowledge of its characteristics and intervening processes contribute to promote the well-being of citizens.

In the context of a research project on the sedimentary dynamics at the mouth of the Figueira da Foz Harbor conducted by the University of Aveiro for the Harbor of Aveiro and Figueira da Foz Administration (APAFF S.A.), the present dissertation was designed and developed, with the main objective to perform the granulometric, mineralogy and geochemistry characterization of the bottom sediments of the mouth of the Figueira da Foz Harbor, and to contribute to their classification for dredging purposes and their utilization. For this study, geophysical data (sidescan sonar) and sediment samples that had been collected with a Petit Ponar dredge from 36 points in an area about 4 km<sup>2</sup> adjacent to the mouth of Figueira da Foz Harbor, central coast of Portugal, were used. The laboratory work consisted of granulometric analysis using the sieve series - ASTM in the dry sand samples, and wet sieve in the sieves <63 µm in the mud sand samples. The granulometric results were submitted to GRADISTAT V.8 software for statistical analysis. The fine portion (<63 µm) of 14 samples were used for mineralogical analysis by XRD and geochemistry by the Method 3050B (acidic partial sediment digestion). The metals were read by ICP-MS. The fraction <2 mm were used for analysis of organic matter, carbonates and relative density. The results were submitted to statistical analysis in R and Q mode using Statistic V.12, and mapped in ArcGis 10.1 software. The granulometric results indicate that the study area has the predominance of sandy sediments in 94.6%, containing a scarce amount of fines and gravel. These sandy sediments are divided into 4 classes: fine sand (38.89%), medium sand (36.11%), coarse sand (13.89%) and very fine sand (11.11%). They are moderately calibrated (47.22%), symmetrical (44.44%), mesocurtic (33.33%), and with an average density of 1.63 g/cm<sup>3</sup>. The use of Sidescan data calibrated with the granulometric data of the sediment samples of the study area allowed a detailed mapping of various types of bottom sediments in the study area and to identify 4 spatial distribution zones. The fine sediments are more distant and in the deepest areas of the mouth. The mineralogy of the sedimentary fraction <63 µm of 14 samples analyzed revealed the predominance of quartz in 54.74%, followed by phyllosilicates (20.43%), plagioclase (10.26%), potassium feldspar (7.60%), Calcite (3.14%), halite (1.10%), anhydrite (1.02%). The minerals siderite, pyrite, dolomite, magnetite and hematite are trace in the analyzed samples. As concerns the classification of these sediments in view of their potential as dredged materials for subsequent use, the geochemical results show that, in spite of the fact that most of the concentrations of the elements analyzed fit into Class 1, there is however an important enrichment in Cd in several samples and therefore the sediments were classified into 4 classes: Class 5 (highly contaminated), Class 4 (contaminated), Class 2 (trace contamination), and Class 1 (absence of contamination).

**Índice Geral**

Índice Geral.....	i
Índice de Figuras .....	iii
Índice de Tabelas.....	vi
Abreviaturas, Siglas e Símbolos.....	vii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introdução .....	1
1.2. Natureza e âmbito deste trabalho .....	1
1.3. Enquadramento do problema .....	2
1.4. Objetivos de trabalho .....	7
1.5. Estrutura de trabalho .....	8
<b>CAPÍTULO 2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DO ESTUDO .....</b>	<b>9</b>
2.1. Enquadramento geográfico e geomorfológico .....	9
2.2. Enquadramento hidrológico e geológico.....	13
2.3. Enquadramento climático, agitação marítima e regime de ventos .....	19
2.4. Transporte sedimentar e deriva litoral.....	20
<b>CAPÍTULO 3. SEDIMENTOS, IMPORTÂNCIA E IMPACTOS ASSOCIADOS .....</b>	<b>22</b>
3.1. Sedimentos e deposição sedimentar .....	22
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
4.1. Metodologia .....	33
4.2. Dados geofísicos e amostragem de sedimentos .....	35
4.2.1. Fundamentos sobre a aquisição e processamento de dados de Sonar de Varrimento Lateral .....	38
4.2.2. Análise granulométrica .....	52
4.2.3. Determinação da densidade dos sedimentos .....	60
4.2.4. Análise mineralógica.....	61
4.2.5. Análise geoquímica .....	67
4.2.5.1. Análise de metais .....	67
4.2.5.2. Análises de matéria orgânica, teores de carbonatos e carbono orgânica total.....	74
4.3. Análise estatística.....	76
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
5.1. Resultados genéricos da análise granulométrica e densidades de sedimentos .....	78
5.2. Dados de sonar de varrimento lateral integrados nos resultados granulométricos.....	82

---

5.2.1. Características texturais e teores sedimentares por classes de sedimentos .....	88
5.2.1.1. Areia muito fina .....	88
5.2.1.2. Areia fina.....	89
5.2.1.3. Areia média .....	91
5.3. Composição mineralógica dos sedimentos.....	93
5.4. Resultados de análise geoquímica.....	99
5.4.1. Teores de matéria orgânica total .....	99
5.4.2. Teores de carbonatos .....	100
5.4.3. Teores de Metais .....	102
5.5. Resultados estatísticos.....	108
5.5.1. Correlações entre as variáveis .....	108
5.5.2. Análise de classificação em modo R.....	112
5.5.3. Análise de classificação em modo Q.....	113
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>116</b>
6.1. Características texturais e físicas dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz.....	116
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>134</b>
7.1. Conclusões .....	134
7.2. Trabalhos futuros .....	136
Referências bibliográficas .....	137
Apêndices.....	148

## Índice de Figuras

Figura 1.1. (A) Localização da área de estudo no mapa de Portugal continental (adaptado da Image Landsat, Google Earth, 2015). (B) Detalhes de área de estudo (retângulo de contorno vermelho), a embocadura do Porto da Figueira de Foz. ....	2
Figura 2.1. (A) Localização da área de estudo no mapa de Portugal continental (adaptado da Image Landsat, Google Earth, 2015). (B) Detalhes de área de estudo (retângulo de contorno vermelho), a embocadura do rio Mondego e parte do estuário, no Porto da Figueira da Foz. ....	9
Figura 2.2. Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica. Definição de sectores (1-Rocha e Soares, 1984; 2-Ribeiro et al., 1996, ) (Rocha e Soares, 1984; Ribeiro et al., 1996, apud Kullberg et al., 2006) e localização de perfis representados noutras figuras. Sondagens: Ca - Carapau, Do - Dourada, Mo - Moreia, Vm - Vermoil, Sm - S. Mamede, Ga - Gaiteiros, Cp - Campelos, Ar - Arruda, Ms - Monsanto, Br - Barreiro, Go - Golfinho (adaptado de Kullberg 2000; Alves, 2005, apud Kullberg et al., 2006).....	12
Figura 2.3. Parte da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Folha 19-C) mostrando formações geológicas da região de Figueira da Foz (adaptado de Rocha et al., 1981). ....	21
Figura 3.1. A-(I) Esquema de um fluxo laminar. B-(I) esquema de um fluxo turbulento. As setas representam as linhas de corrente. (II) Os regimes de fluxo livres em função dos valores críticos dos números de Froude e de Reynolds. (III) Diagrama de Hjulström mostrando os domínios: erosão – transporte – sedimentação. ....	26
Figura 4.1. Representação esquemática da metodologia aplicada neste trabalho. ....	34
Figura 4.2. (A): Localização da área de estudo no mapa de Portugal continental (adaptado de Image Landsat, Google Earth, 2015). (B): Localização de estações de amostragem na área de estudo (pontos a vermelho), a embocadura do Porto da Figueira de Foz. ....	37
Figura 4.3. Sistema combinado Chip Sonar / Side Scan Sonar Edgetech SB- 512i utilizado durante a campanha oceanográfica realizada pela Universidade de Aveiro em Setembro de 2015 (Pinheiro et al., 2010). ....	37
Figura 4.4. (A): Representação da construção da imagem de sonar de varrimento lateral à medida que a embarcação avança (adaptado de: <a href="http://www.jornaljovem.com.br/edicao18/antartida_pesquisas_icebergs.php">http://www.jornaljovem.com.br/edicao18/antartida_pesquisas_icebergs.php</a> , acesso em 03/04/2016). (B): Representação esquemática da geometria do pulso de um sonar de varrimento lateral (adaptado de Xu, 1998, in Pinheiro et al., 2011). ....	39
Figura 4.5. Resolução das imagens de sonar de varrimento lateral na direção do movimento do navio (along-track), $\Delta x$ . Observa-se, nesta imagem, que dois objetos distintos podem ser registados na imagem como um único objeto, localizadas a distância da fonte acústica suficientemente grande, face à largura horizontal do feixe a essa distância (adaptado de Mazel, 1985, in Pinheiro et al., 2011). ....	40
Figura 4.6. Resolução das imagens de sonar de varrimento lateral na direção perpendicular ao movimento do navio (across-track), $\Delta y$ . Observa-se, nesta imagem, que dois objetos distintos podem ser gravados no registo do sonar como um único objeto, se próximos o suficiente da fonte acústica que permita que sejam englobados no mesmo feixe. O nadir corresponde à zona no fundo marinho na vertical do sonar (adaptado de Pinheiro et al., 2011). ....	41
Figura 4.7. Tipos de sonar de varrimento lateral (adaptado de Neto, 2001). ....	42
Figura 4.8. Reflexão (seta a preto) e retrodispersão ou <i>backscatter</i> (setas a cinza) nos sedimentos do fundo, do sinal acústico emitido pelo sonar (adaptado de Mazel, 1985, in Pinheiro et al., 2011). ....	43
Figura 4.9. Diagrama que ilustra a formação das zonas de sombras (Luis Menezes. Pinheiro et al., 2011). ....	45
Figura 4.10. Esquema de Sonar de Varrimento lateral ilustrando a determinação de a altura do objeto (rocha) a partir de Teorema de Tales (adaptado de Mazel, 1985). ....	46
Figura 4.11. Representação do funcionamento de Sonar de Varrimento Lateral estando este a reboque do navio (adaptado de Henriques et al., 2012).....	47
Figura 4.12. Representação esquemática de cobertura total com sobreposição de varrimento (adaptado de Henriques et al., 2012). ....	48

Figura 4.13. Distorção provocada pelo efeito das distâncias oblíquas ( <i>slant range</i> ), ilustrada através da distância entre duas estruturas quando localizadas perto e afastadas do nadir (adaptado de (Blondel, 2009, in Pinheiro et al., 2011).....	49
Figura 4.14. Linha de sonar de varrimento lateral adquirida num dos canais da Ria de Aveiro. (A): imagem sem processamento; (B): após a remoção da porção correspondente à coluna de água abaixo do sonar e aplicação da correção radiométrica ( <i>beam angle correction</i> ) para compensar os efeitos da iluminação desigual devido à forma e ângulo de incidência do feixe (Pinheiro <i>et al.</i> , 2011). .....	50
Figura 4.15. Visualização de diferentes fases de análise granulométrica .....	53
Figura 4.16. Peneiração via húmida. ....	53
Figura 4.17. Peneiração por via seca e mostras de frações grosseiras e finas.....	54
Figura 4.18. Diagrama triangular de classificação de cascalho (Folk e Ward, 1957, in Blott e Pye, 2001). .....	56
Figura 4.19. Diagrama triangular de classificação de areia (Folk e Ward, 1957, in Blott e Pye, 2001). ....	56
Figura 4.20. Representação esquemática da dedução da equação de Bragg. Imagem adaptada de: <a href="http://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/difracao-de-raio-x/">http://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/difracao-de-raio-x/</a> , acesso em 05/08/2016. ....	63
Figura 4.21. Visualização da fase de preparação de tomas de amostra para análise mineralógica .....	64
Figura 4.22. (A) visualização da imagem do autor em pleno manuseio do difractor no laboratório de Raio X da Universidade de Aveiro; (B) imagem do difractor de Raios X, modelo Philips X <sup>3</sup> Pert. ....	65
Figura 4.23. Ilustração de um difractor obtido a partir do Difractor de Raios X ilustrado na figura 4.22 acima. ....	66
Figura 4.24. Ilustração de algumas fases de análise de metais, (A) Pesagem de amostras (<63 µm), (B) arrumação das amostras no bloco de digestão .....	70
Figura 4.25. Ilustração de algumas fases de análise de metais. (C) Sistema de digestão e micro-ondas em pleno funcionamento, (D) registador de temperatura, (E) Solução de amostras no sistema de leitura de metais (ICP-MS) e (F) Sistema de leitura de metais (ICP-MS). ....	71
Figura 4.26. (G) Ilustração de fase de calibração das retas de concentração de metais após a leitura por ICP-MS .....	72
Figura 5.1. Distribuição espacial da média granulométrica (µm) dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz .....	79
Figura 5.2. Diagrama triangular de classificação de cascalho (A) e areia (B) de cordo com Folk & Ward (1957) .....	80
Figura 5.3. Distribuição de densidade da fração sedimentar <2 mm da embocadura do Porto da Figueira da Foz.....	82
Figura 5.4. Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral (FF2015) da área da embocadura do Porto da Figueira da Foz, obtido após o processamento de dados de Sonar de Varrimento Lateral adquiridos durante a campanha oceanográfica realizado em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro (Pinheiro, com. pessoal), georreferenciados e interpretados pelo autor deste trabalho. Nesta figura, observa-se dentro do contorno circular amarelo, a zona de maior retrodispersão (classe de areia grosseira, e dentro do contorno laranja, a zona de baixa retrodispersão (classe de areia muito). ....	83
Figura 5.5. Distribuição granulométrica das 36 amostras pontuais de sedimentos colhidas na embocadura do Porto da Figueira da Foz, durante a campanha oceanográfica realizada em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro. A cor azul representa areia muito fina, verde representa areia fina, amarelo representa areia média e vermelho representa areia grosseira. ....	84
Figura 5.6. Ilustração de resultados granulométricos de amostras pontuais de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da foz analisados, georreferenciados e interpretados pelo autor deste trabalho, e integrados com o mosaico de dados de sonar de varrimento lateral obtidos na campanha oceanográfica Ffoz-2015, e processados por Pinheiro, com. pessoal. Locais com maior retrodispersão no mosaico (zonas brancas e cinza-claro) coincidem com sedimentos mais grosseiros (vermelho e amarelo), e locais com baixa refletividade (cinza-escuro e preto) coincidem com sedimentos mais finos (verde e azul). ....	85
Figura 5.7. Distribuição espacial das 4 classes de sedimentos arenoso na área da embocadura do Porto da Figueira da Foz. Nesta figura, observa-se que a percentagem da cobertura espacial da classe de areia fina é relativamente semelhante a da areia média. Mapa cartografada a partir de dados pontuais de sedimentos e de sonar de varrimento lateral ilustrados na Figura 5.6.....	86

Figura 5.8. Ilustração de resultados granulométricos de amostras pontuais da embocadura do Porto da Figueira da foz integrados com os dados de batimetria FFoz-2013 cedidos pela APAFF S.A para UA. Os sedimentos mais finos encontram-se mais afastados da embocadura e em áreas mais profundas. Os sedimentos grosseiros depositam-se em locais menos profundos e próximos da costa. ....	87
Figura 5.9. Distribuição espacial dos finos (%) na embocadura do Porto da Figueira da Foz. As maiores percentagens encontram-se em locais mais afastadas da embocadura. ....	88
Figura 5.10. Ilustração da sobreposição dos difractogramas das amostras FF20, FF18, FF5 e FF1 (fração sedimentar <63 µm da embocadura do Porto da Figueira da Foz) obtidos de análise mineralógica por DRX. ....	95
Figura 5.11. Ilustração da sobreposição dos difractogramas das amostras FF24, FF15, FF13 e FF3 (fração sedimentar <63 µm da embocadura do Porto da Figueira da Foz) obtidos de análise mineralógica por DRX. ....	96
Figura 5.12. Distribuição percentual dos principais 4 minerais nas amostras analisadas: (A): quartzo; (B): filossilicatos; (C): plagioclase e (D): feldspato potássico. ....	97
Figura 5.13. Distribuição do mineral calcite (%) nas amostras analisada. ....	97
Figura 5.14. Distribuição espacial de principais minerais (%) na área de estudo: (A) Quartzo, (B) Filossilicatos, (C) Plagioclase e Feldspato potássico. ....	98
Figura 5.15. Distribuição espacial do mineral calcite (%) na embocadura do Porto da Figueira da Foz ...	99
Figura 5.16. Distribuição de teores da matéria orgânica total (MO, %) por amostras analisadas. ....	100
Figura 5.17. Distribuição de teores de carbonatos (%) por amostras analisadas. ....	101
Figura 5.18. Distribuição espacial dos teores de matéria orgânica (MOT, %) da fração sedimentar <2mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz. A escala quantitativa segue o critério de classificação de matéria orgânica proposto por Moreira (2013). A cor verde-clara representa nível muito baixo, verde representa nível baixo, amarelo representa nível médio e vermelho representa nível alto. ....	101
Figura 5.19. Distribuição espacial dos teores de carbonatos (%) da fração sedimentar <2mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz. A escala quantitativa segue o critério de classificação de carbonatos proposto por Moreira (2013). A cor verde-clara representa nível pobremente carbonatada, verde representa pouco carbonatada e amarelo representa nível moderadamente carbonatada. ....	102
Figura 5.20. Distribuição de teores de elementos maiores (%) nos locais estudados. ....	103
Figura 5.21. Distribuição espacial dos elementos maiores (%) da fração sedimentar <63µm nas estações estudadas na embocadura do Porto da Figueira da Foz: (A) Cálcio, (B) Ferro, (C) Alumínio e (D) Magnésio. ....	104
Figura 5.22. Distribuição espacial de Potássio (em %) na fração sedimentar <63 µm nas estações estudadas na embocadura do Porto da Figueira da Foz. ....	105
Figura 5.23. Distribuição de teores de alguns elementos traços (mgkg <sup>-1</sup> ) por amostras analisadas. (A) Zinco, (B) Crómio, (C) Vanádio e (D) Arsénio. ....	106
Figura 5.24. Distribuição de teores de Cádmio (mgkg <sup>-1</sup> ) por amostras analisadas. ....	107
Figura 5.25. Distribuição espacial dos elementos traços (em mgkg <sup>-1</sup> ) da fração sedimentar <63µm na embocadura do Porto da Figueira da Foz: (A) Zinco, (B) Crómio, (C) Vanádio e (D) Arsénio. ....	107
Figura 5.26. Distribuição espacial de Cádmio (em mgkg <sup>-1</sup> ) na fração sedimentar <63 µm nos locais estudados da embocadura do Porto da Figueira da Foz. ....	108
Figura 5.27. O dendrograma elaborado a partir de amostras com dados geoquímicos, análise de classificação em modo R (em função das variáveis), com base nas correlações de Pearson e no método de ligações completas para aglutinação de variáveis. Onde: Mg (média granulométrica), Bioc (bioclastos), MO (matéria orgânica), Carb (carbono orgânico total), Calc (calcite), Sid (siderite), Anid (anitrite) e Filos (filossilicatos). ....	113
Figura 5.28. O dendrograma elaborados a partir de amostras com dados geoquímicos, análise de classificação em modo Q (em função das estações), com base nas Distâncias Euclidianas e no método de Ward para a aglutinação das estações e com base nas mesmas variáveis usadas no dendrograma em modo R. ....	114

## Índice de Tabelas

Tabela 4.1. As principais características do sonar de varrimento lateral usado na campanha oceanográfica em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro (Pinheiro et al., 2010). .....	36
Tabela 4.2. Seleção do tipo de sistema de sonar de varrimento lateral em função da resolução e alcance pretendido (Pinheiro et al., 2011, in Coelho et al., 2011). .....	52
Tabela 4.3. Visualização de um dos exemplos de resultados obtidos através do Programa Gradistat V.8.55	55
Tabela 4.4. Fórmulas para cálculos de parâmetros texturais e suas terminologias (Blott & Pye, 2001) ....	57
Tabela 4.5. Visualização de um exemplo de resultados de semiquantificação dos minerais obtidos a partir da folha de cálculo de Excel .....	67
Tabela 4.6. Intervalos de valores percentuais relativamente consensuais para qualificar os minerais em níveis de abundâncias, adaptado Carvalho (2005). .....	67
Tabela 4.7. Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação: metais ( $\text{mgkg}^{-1}$ ), compostos orgânicos ( $\text{ugkg}^{-1}$ ), adaptado de adaptado do anexo III da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro .....	73
Tabela 4.8. Classes de qualidades dos sedimentos (material dragado), adaptado do anexo adaptado do anexo x da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro .....	74
Tabela 4.9. Classificação de solos e sedimentos quanto ao teor de carbonatos de acordo com Moreira (2013) .....	76
Tabela 4.10. Classificação de solos e sedimentos quanto ao teor de matéria orgânica de acordo com Moreira (2013) .....	76
Tabela 5.1. Classificação geral dos sedimentos da embocadura da Barra do Porto da Figueira da Foz. $D_{10}$ , $D_{50}$ e $D_{90}$ correspondem, respetivamente, à diâmetros de cortes de 10, 50 e 90% de Peso total de partículas nas amostras estudadas. A expressão $D_{90}/D_{10}$ é a razão entre os dois diâmetros de cortes	81
Tabela 5.2. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), textura e teores de sedimentos (%) da classe de areia muito fina. ...	89
Tabela 5.3. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), texturas e teores de sedimentares (%) da classe de areia fina. ....	90
Tabela 5.4. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), texturas e teores de sedimentos (%) da classe de areia média. ....	92
Tabela 5.5. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), texturas e teores de sedimentos (%) da classe de areia grosseira.....	93
Tabela 5.6. Principais minerais (%) da fração $<63 \mu\text{m}$ de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira de Foz. $P_{75}$ corresponde ao 75º Percentil, $P_{25}$ corresponde ao 25º Percentil e DP corresponde ao desvio padrão em relação a média.....	94
Tabela 5.7. Teores de matéria orgânica (%) da fração sedimentar $<2 \text{ mm}$ de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz.....	100
Tabela 5.8. Teores de Carbonatos (%) da fração sedimentar $<2 \text{ mm}$ de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz. ....	100
Tabela 5.9. Máximos, mínimos, médias, mediana, percentis e desvios padrão das concentrações de elementos maiores (%) da fração sedimentar $<63 \mu\text{m}$ da embocadura do Porto da Figueira da Foz. ....	103
Tabela 5.10. Os máximos, mínimos, percentis, média, mediana e desvios padrão (DP) das concentrações de elementos traços (%) da fração sedimentar $<63 \mu\text{m}$ da embocadura do Porto da Figueira da Foz. ....	106
Tabela 5.11. Resultados das correlações de Pearson de 39 variáveis; as correlações significativas (destacados a cor azul) são os que apresentam $r > 0,54,00$ ( $P < 0,05$ ; $N=14$ ).....	115

## Abreviaturas, Siglas e Símbolos

(A)	Areias de praia
(a)	Aluviões
(Ad)	Areias de dunas
APAFF, S.A	Administração do Porto de Aveiro e Figueira da Foz, Sociedade Anónima
ArcGis	Automatic Reference Counting-Geographic Information System
Calc	calcite
Cap.	Capítulo
Carb	Carbonatos
CESAM	Centro de Estudo do Ambiente e do Mar
(C <sup>1-2</sup> )	Arenitos de Carrascal
(C <sup>2-3</sup> )	Calcários apinhoados de Costa de Anes
(C <sup>4</sup> )	Arenitos finos de Lousões
Dens	Densidade
DRX	Difração de Raios X
D <sub>50</sub>	Diâmetro médio de partículas
D <sub>90</sub>	Diâmetro de corte de 90% de peso total de partículas
D <sub>10</sub>	Diâmetro de corte de 10% de peso total de partículas
D <sub>90</sub> /D <sub>10</sub>	Razão de diâmetros de corte de 90% e 10% de peso total de partículas
DP	Desvio Padrão
E	Este
EP-PNAAS	Equipa de Projectos-Plano Nacional de Acção Ambiente e Saúde
ESRI	Environment Systems Research Institute
et al.	Do Latim “e outros”
filos	filossilicatos
GPSD	Sistema de Posicionamento Geográfico Diferencial
GRADISTAT	Grain Size Distribution and Statistics Package
g	Grama
gmL <sup>-1</sup>	Grama por mililitro
HCB	Hexaclobenzeno
Inf.	Inferior
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
JCPDS	<i>Joint Committee for Powder Diffraction Standards</i>
(J <sub>a</sub> <sup>1</sup> )	Formações calcárias
(J <sub>g</sub> <sup>1</sup> )	Calcários margosos e margas
(J <sup>4-5</sup> )	Arenitos de Boa Viagem
K <sub>G</sub>	Curtose
KHz	Quilo-hertz
Km	Quilometro
m	Metro
Med.	Médio
MG	Média granulométrica
mgL <sup>-1</sup>	Miligramas por mililitro
mgkg <sup>-1</sup>	Miligramas por quilograma
mm	Milímetro
MOT	Matéria Orgânica Total
N	Norte
(P)	Formação de areias, grés e argilas
PAH	Hidrocarbonetos aromáticos
PCB	Bifenilos Policlorados
pH	Potencial hidrogeniónico
ppm	Parte por milhão
PRISM	<i>Processing of Remotely-sensed Imagery for Seafloor Mapping</i>
Pyr	Pirite
P <sub>75</sub>	Percentil 75
P <sub>25</sub>	Percentil 25
Qtzo	quartzo

---

$(Q^3)$	Depósitos terraços de 25 a 40 m
$(Q^4)$	Depósitos terraços de 8 a 20 m
R	Correlação de Pearson
RTK	<i>Real time Kinematics</i>
$r_i$	Raio iónico
S	Sul
Sid	Siderite
$Sk_f$	Assimetria
USGS	United States Geological Survey
USEPA	<i>Environmental Protection Administration Agency, United States</i>
UTM WGS84 29N	Universal Transverse Mercator, World Geodetic System 29 North
V/V	Fração volúmica ou percentagem volúmica
W	West
WHO	World Health Organization
XTF	eXtensible Text Framework
Z	Carga do ião
$\mu\text{g}^{-1}$	Micrograma por grama
$\mu\text{gL}^{-1}$	Micrograma por litro
$\mu\text{gmL}^{-1}$	Micrograma por litro
$\mu\text{m}$	Micrómetro
(SM)	Formação argilo-gresosa e conglomerática da Senhora do Bom-Sucesso
( $\emptyset$ )	Diâmetro médio
$\sigma_1$	Índice de Calibração
&	Do Latim “e”, ou seja, “e comercial” que substitui a expressão “et”
%	Percentagem
°	Grau
°C	Grau Celcius
,	Minuto
~	Aproximado
G7	Grupo de 7 docentes da UPM integrados no curso de MEG, UA, 2014/2016
UPM	Universidade Pedagógica de Moçambique
UA	Universidade de Aveiro
MEG	Mestrado em Engenharia Geológica
Eng <sup>a</sup> / Eng <sup>o</sup>	Engenheira/ Engenheiro
Sr <sup>a</sup> / Sr <sup>o</sup>	Senhora/ Senhor

---

**CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO****1.1. Introdução**

Os sedimentos de fundo das embocaduras dos rios (estuários) são uma mistura de material de origem fluvial e marinha. Estes materiais experimentam a influência de diversos fatores naturais e antrópicos. A sua textura e composição reflete a sua origem e os processos geodinâmicos a que estiveram sujeitos tanto no mar como em Terra, o que lhes associa um vasto leque de interesses científicos e económicos.

A cartografia sedimentar da plataforma continental portuguesa tem vindo a ser efetuada tendo em vista aplicações associadas a um vasto campo de atividades, como por exemplo, as cartas de apoio à pesca e a atividades de lazer, zonas favoráveis à exploração de materiais inertes, delimitação de fundeadouros, instalação de estruturas submarinas para aproveitamento de energia das ondas, atividades de natureza militar e estudos de propagação do som no meio marinho (Luíz et al., 2006).

Estes interesses, bem articulados, contribuem para o conhecimento das características destes materiais e para potenciarem uma qualidade de vida e bem-estar dos cidadãos, em particular os que vivem e desenvolvem as suas atividades nas zonas litorais. Assim, considerando a vasta importância destes materiais, desenvolveu-se o presente trabalho intitulado “*Caracterização Granulométrica, Mineralógica e Geoquímica de Sedimentos da Embocadura do Porto da Figueira de Foz*”.

**1.2. Natureza e âmbito deste trabalho**

Com este trabalho pretende-se efetuar a caracterização granulométrica, mineralógica e geoquímica dos sedimentos na área da embocadura do Porto da Figueira de Foz (Figura 1.1), com base num conjunto de amostras colhidas neste local pela Universidade de Aveiro (Silva et al., 2015; Pinheiro, L. M., com. pessoal). As amostras sedimentares estudadas cedidas para este trabalho foram recolhidas no âmbito de um projeto de investigação sobre o estudo da dinâmica sedimentar na embocadura da barra do Porto da Figueira de Foz realizado pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto de Aveiro (APA S.A.). As campanhas oceanográficas e de amostragem sedimentar realizadas pelos Departamentos de Geociências e de Física da Universidade de Aveiro, tiveram lugar em Setembro de 2015, tendo sido também adquiridos dados geofísicos de sonar de varrimento lateral.

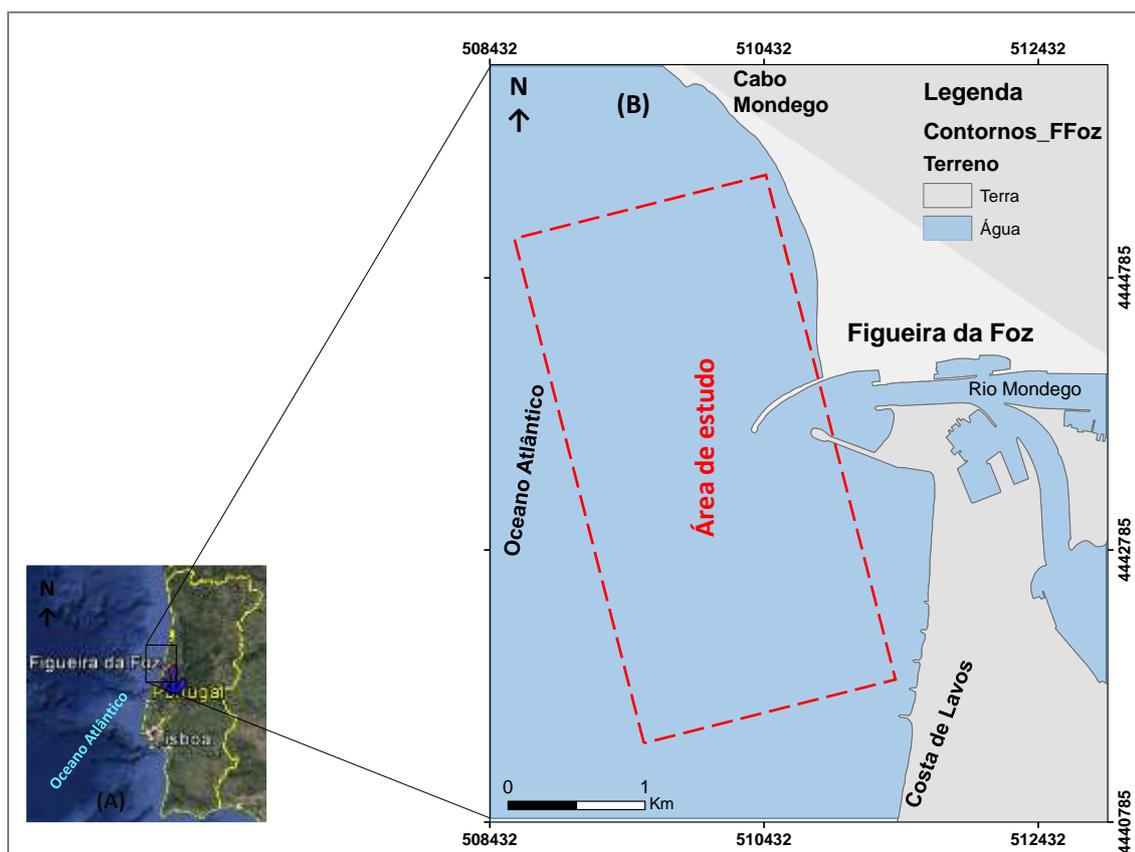


Figura 1.1. (A) Localização da área de estudo no mapa de Portugal continental (adaptado da *Image Landsat, Google Earth*, 2015). (B) Detalhes de área de estudo (retângulo de contorno vermelho), a embocadura do Porto da Figueira de Foz.

### 1.3. Enquadramento do problema

Os sedimentos são elementos essenciais, integrantes e dinâmicos das bacias hidrográficas. Estes elementos tem um valor ecológico bastante significativo. Além de serem a base para o suporte da vida aquática (habitats) e fornecerem nutrientes, têm um valor socioeconómico acrescido quando utilizados como materiais para diversos fins (Brils, 2015). Estes materiais são originados pelo intemperismo das rochas e solos, podendo ser transportados em suspensão ou como carga de fundo, pelos rios, ou ainda através da deposição atmosférica (Aguiar et al., 2007; Brils, 2015). No entanto, representam dentro do domínio sedimentar, o ponto terminal de acumulação das substâncias transportadas para a plataforma continental (Aguiar et al., 2007). Além de darem informação sobre a hidrodinâmica do sistema e sobre as condições do ambiente sedimentar, também são fatores importantes no controle da distribuição natural e/ou antrópica dos elementos químicos nos sedimentos (Cruz et al., 2013). A contaminação de sedimentos provocada pela emissão antrópica de produtos químicos diretamente na água

---

ocorre desde o princípio da revolução industrial. Em áreas com históricos de sedimentação longos, “cores” de sedimentos refletem a história de poluição numa determinada bacia (Brils, 2015).

Os sedimentos são constituídos por diferentes substratos geoquímicos, alguns dos quais possuem a capacidade de reter e concentrar elementos traço (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Cd, Pb, etc.) como por exemplo os sulfuretos e os óxidos de manganês e os óxidos e hidróxidos de ferro. Estes materiais possuem alta superfície específica e alta capacidade de troca catiónica. A característica fundamental desses materiais é que são termodinamicamente instáveis, sendo constituídos por substâncias amorfas ou pouco cristalinas (Lima et al., 2001). Por essa razão esses sedimentos tornam-se um importante compartimento para avaliação das influências das descargas antrópicas para o ambiente marinho. Quando associados ao estudo de bioindicadores, como por exemplo, foraminíferos, podem informar-nos sobre zonas impactadas (Aguiar et al., 2007; Martins et al., 2013). Também a caracterização física e química dos sedimentos de fundo em locais de altas taxas de assoreamento antes de operações de dragagem, pode ajudar na gestão de dragados nestas zonas.

Os dragados são materiais retirados ou deslocados do leito dos corpos de água pelas atividades de dragagens, tendo na sua composição a predominância de partículas minerais, que variam de areia grossa a fina, silte e argila, e outros materiais denominados de resíduos e rejeitos (Castro & Almeida, 2012).

A extração de inertes pode corresponder à retirada de sedimentos de um rio, estuário e outros corpos de água, seja no leito ou margem, com o propósito de comercialização desses materiais, por exemplo para a construção civil (Paiva, 2011; Silva, 2011, in Coelho et al., 2011). As atividades de dragagens têm como primeiro objetivo permitir a navegabilidade de um trecho do rio, estuário e facilitar a atividade portuária (Verfaillie et al., 2005; Coelho et al., 2011).

As atividades de dragagem são fundamentais e inevitáveis em zonas portuárias e estuarinas de forma a manter a operacionalidade de canais, rios e portos. Frequentemente os sedimentos resultantes são utilizados, com ou sem estudos científicos prévios, em vários cenários, que incluem o controlo da erosão, aquacultura, agricultura, alimentação de praias e estabilização de linha da costa, como matéria-prima para a produção de agregados ou outros produtos de construção.

---

Os sedimentos dragados têm sido apontados como meios alternativos para reduzir a demanda de recursos naturais tradicionalmente explorados, tais como as pedreiras e os terraços de areias nas planícies. O aumento das distâncias ao alcance dessas fontes, ao longo do tempo, em relação aos locais de aplicação e as crescentes restrições de novas pedreiras são exemplos de alguns fatores condicionantes da inviabilidade na exploração desses recursos (agregados superficiais), criando deste modo, uma apreciação favorável à utilização de sedimentos de fundo costeiros e marinhos. Pois, o volume dos sedimentos nas zonas costeiras como as praias tem vindo a diminuir ao longo da linha costa de muitos países.

A linha de costa portuguesa tem um comprimento considerável, com uma extensão de 950 Km, apresentando alternância de arribas e cabos e troços de areais de altitude pouco acima do nível do mar (Ferreira, 2000; Veloso-Gomes et al., 2007; Schmidt et al., 2012; Schmidt & Mourato, 2015). O litoral português é marcado por um clima de intensa agitação marítima e a subida generalizada de nível médio do mar, e portanto, suscetível a risco de avanço progressivo da linha de costa em direção ao continente (Dias et al., 2000; Veloso-Gomes et al., 2007). Observa-se erosão costeira em grandes troços deste litoral – cerca de um terço está afetado por erosão (Veloso-Gomes, et al., 2007; Schmidt & Mourato, 2015), tal como acontece na maior parte das regiões costeiras do mundo, como por exemplo, a da cidade da Beira, localizada no centro de Moçambique, reportada no Jornal DW África-Moçambique por Sebastião (2015). Sendo um local banhado pelas águas do Oceano Índico e Rios Púngue e Búzi, formando desta mistura, um autêntico ecossistema costeiro, o estuário do Rio Púngue, que foi objeto de estudo de Brito e Pena (2007), no âmbito do contributo ecológico deste ecossistema no crescimento juvenis de camarões Peneídeos (habitats de fundos lodosos e areno lodosos) e recrutamento de adultos destes camarões para o alto mar (Banco de Sofala), hoje é um palco da realização de intensas atividades de dragagens, com o objetivo de aumentar e/ou manter os calados dos navios navegáveis nesta zona. Estas atividades, além de seu papel para navegabilidade dos navios, podem ter um contributo considerável no aumento da taxa de erosão costeira neste local, dado o aumento de profundidade do canal de -6 para -8 m (CONSULTEC, 2007), e conseqüente progradação dos sedimentos costeiros como o resultado provável da instabilidade destes materiais com os respetivos ângulos de repouso (aumento do declive topográfico em direção ao mar), e obstrução do canal principal devido o assoreamento.

---

Assim, os materiais dragados das zonas litorais, além serem fontes de matéria-prima, podem trazer vantagens à sociedade ao serem utilizados artificialmente na resolução de problemas ambientais como o da erosão costeira através da re-alimentação artificial das praias, e de outros problemas afins.

Embora os dragados sejam considerados um produto promissor e a diretiva da União Europeia esteja à procura de soluções ambientalmente sustentáveis, estes são na sua grande maioria depositados no mar, sendo apenas uma pequena parte, entre 2 a 15%, utilizados de forma benéfica (Velosa & Cachim, 2011, in Coelho et al., 2011).

A gestão dos materiais dragados é um problema à escala mundial e a solução tradicional de os depositar no mar tem sido progressivamente condicionada por regulamentos nacionais e internacionais. Porém, nem por isso esta prática tem vindo a reduzir. Por exemplo, em Portugal, cerca de 2,6 milhões de toneladas de dragados foram depositados no mar, apenas no ano de 2005, o que se pode traduzir, nalguns casos, em desperdício e perdas económicas (Velosa & Cachim, 2011, in Coelho et al., 2011). Por outro lado, durante a dragagem de sedimentos é possível que substâncias químicas perigosas associadas a eles sejam libertadas para o meio aquático, causando impactos ambientais danosos aos sistemas aquáticos. Estima-se que em Portugal, no total de materiais dragados, cerca de 5% são pouco contaminados e 1% são contaminados (Paixão, 2004).

Esta prática, em alguns casos, acarreta problemas ambientais graves e progressivos, por isso, urge a necessidade da procura de soluções ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis. De acordo com *Portaria nº 209/2004 de 3 de Março dos Ministros da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente*, os materiais dragados são classificados como resíduos sob a secção 17 05 05 (lamas de dragagem contendo substâncias perigosas) e a secção 17 05 06 (as lamas de dragagem não abrangidas em 17 05 05).

Não estando isentos de contaminação, na sua totalidade, recomenda-se para utilização dos materiais dragados, o desenvolvimento de medidas ou soluções ambientalmente sustentáveis que incluam, entre outras análises, os estudos texturais, mineralógicos e geoquímicos (determinação de quantidade de compostos orgânicos e metais potencialmente tóxicos, etc.), medidas estas que no seu grosso estão decretadas na

---

*Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.*

Segundo Magalhães (2001), estudos efetuados e disponíveis sobre a cobertura sedimentar da plataforma continental portuguesa permitem concluir que, de facto, existem diferenças significativas e bem marcadas nos sedimentos presentes nos diversos sectores passíveis de individualização. Um exemplo típico de áreas passíveis de individualização são as embocaduras. Pinheiro (2008) descreve que as embocaduras são zonas da costa com características hidrodinâmicas e dinâmicas sedimentares especiais e complexas devido ao facto de estabelecerem uma ligação onde diversas forças da natureza interagem entre si. Nestas zonas definem-se canais de navegação que influenciam as direções e os fluxos do transporte litoral próximo da linha de costa, e devem ser por isso alvo de um estudo cuidadoso em termos de controlo quantitativo e qualitativo de sedimentos.

A área do Porto da Figueira da Foz ofereceu e ainda oferece óptimas condições para os estudos deste género, pois trata-se de uma embocadura natural que tem experimentado ao longo dos tempos modificações artificiais importantes. Estas têm influenciado de sobremaneira a sua dinâmica natural. Por exemplo, Cunha et al. (1995), ao estudarem a evolução do estuário do Rio Mondego, condicionado por intervenções portuárias, constataram que a resposta natural às remoções artificiais é rápida, com tendência para uma uniformização das cotas dos fundos e o desenvolvimento de morfologias dinâmicas. Os mesmos autores salientam que a remoção de sedimentos é feita por dragagem ou extração na praia e no sector distal do estuário e está condicionada pelos afluxos naturais. Esta atividade cria a sobre-exploração de sedimentos a qual resulta em consequências nefastas, como a do acentuado défice arenoso da costa, a redução da eficácia da auto-drenagem fluvial, a tendência de assoreamento da barra e área portuária com sedimentos marinhos e a aceleração da colmatação e eutrofização do “Braço Sul”.

Pinheiro (2008) constatou que a área sul do estuário do Mondego é atualmente uma zona de risco erosão devido às ações antrópicas, pelo que a transposição artificial de sedimentos se justifica ainda mais, como medida mitigadora de impactos. Resultados similares a estas constatações foram referenciados recentemente por Silva et al. (2015), ao estudarem a dinâmica sedimentar na embocadura do Porto da Figueira da Foz. Estes autores ainda salientam que as escavações que resultam das operações de dragagem efetuadas na embocadura são posteriormente preenchidas com sedimentos provenientes

---

da deriva litoral. A corrente de maré na embocadura pode contribuir para o enchimento das escavações. A escala de tempo de permanência das escavações é dependente da frequência dos eventos extremos de ondulação. A intensidade e o sentido da corrente de deriva litoral no cabo Mondego dependem das condições de agitação marítima incidentes.

Pinto (2015), ao caracterizar a geologia e a geofísica da área do Porto da Figueira da Foz, concluiu que os sedimentos mais finos se encontram no local mais a sul e mais distantes da costa e em zonas com maiores profundidades. Já os sedimentos grosseiros são os primeiros a serem depositados enquanto que os mais finos continuam em suspensão e são transportados por um período mais longo. E mais, este autor reconhece a necessidade da realização de análises granulométricas em maior número de amostras, assim como a análise geoquímica e mineralógica dos sedimentos da área do Porto da Figueira da Foz, como uma medida para identificar com bastante precisão a origem dos sedimentos de fundo deste local.

A plataforma e vertente continental superior entre os paralelos de Espinho e do Cabo Mondego constituem um dos sectores melhor conhecidos da margem continental portuguesa. Contudo, o conhecimento relativo à cobertura sedimentar restringia-se às frações mais grosseiras dos sedimentos superficiais (cascalho e fundamentalmente areia), desconhecendo-se a composição das partículas finas, que constituem importantes traçadores de proveniência, dispersão e deposição de sedimentos (Abrantes, 2005).

Deste modo, percebe-se que a caracterização dos sedimentos de fundo é de extrema importância. A granulometria, mineralogia e geoquímica são os parâmetros comumente caracterizados nas análises de sedimentos, e portanto, necessários para uma gestão correcta, face à pressão generalizada a que a sua exploração está sujeita.

#### **1.4. Objetivos de trabalho**

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização granulométrica, mineralógica e geoquímica dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz, com o intuito de dar um contributo para a sua definição e para análise do material dragado nesta área. Para materialização deste objetivo, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Definir a granulometria da amostra total dos sedimentos em estudo;
- Integrar os dados de sonar de varrimento no ArcGis e correlacionar com os dados granulométricos, de forma a cartografar os diferentes tipos de sedimentos de fundo;
- Identificar e descrever os minerais mais expressivos na fração sedimentar <63  $\mu\text{m}$ ;
- Determinar os teores dos elementos químicos maiores e traços na fração sedimentar <63  $\mu\text{m}$ ;

- Quantificar o teor de matéria orgânica total e carbonatos na fração sedimentar <2 mm;
- Correlacionar os dados mineralógicos e granulométricos com os teores dos elementos químicos maiores e traços dos sedimentos em estudo, e efetuar a sua representação espacial, com recurso ao *software* ArcGis;
- Avaliar os teores químicos dos sedimentos em estudo com base nas normas de qualificação de resíduos sólidos e determinar a sua aptidão ambiental para utilização industrial.

### **1.5. Estrutura de trabalho**

O trabalho agora apresentado encontra-se organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1, que corresponde à introdução, inicia-se por uma introdução sumária, da descrição da natureza e âmbito do trabalho e enquadramento do problema. Neste Capítulo realça-se o estado de arte da problemática em estudo, os objectivos do estudo, e a presente estrutura do trabalho. O Capítulo 2 aborda o enquadramento da área de estudo (Embocadura da Figueira de Foz), realçando as suas características geográficas, geomorfológicas, hidrológica, geológica e o clima, seguida dinâmica sedimentar local. É feita menção também, embora não exaustiva, dos principais fatores que afetam este sector da margem continental portuguesa e a área emersa adjacente, bem como o regime climático e a circulação oceânica nesta zona da margem oeste ibérica. No Capítulo 3 descreve-se genericamente os sedimentos coesivos e não coesivos, destacando o intemperismo físico e químico, processo de floculação e, deposição sedimentar, importância dos sedimentos e impactos associados. No Capítulo 4 descrevem-se os materiais e as metodologias usadas, destacando-se a metodologia da amostragem, o funcionamento do sonar de varrimento lateral, as análises granulométricas, mineralógicas e geoquímicas, e ainda o processo de determinação da densidade das partículas sedimentares. Na parte final deste capítulo descrevem-se as análises estatísticas utilizadas na interpretação e discussão dos resultados. No Capítulo 5 são apresentados os resultados granulométricos, mineralógicos e geoquímicos (teores da matéria orgânica, carbonatos, carbono orgânica total e de elementos maiores e traços) destacando-se os seus valores máximos, mínimos, as médias e os seus respetivos desvios padrão. É analisada a correlação dos dados estudados. Também são apresentados os resultados da integração dos dados de sonar de varrimento lateral integrados com os resultados das análises granulométricas. No Capítulo 6 apresenta-se a discussão dos resultados. O Capítulo 7 sumariza as principais conclusões deste estudo e trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DO ESTUDO

## 2.1. Enquadramento geográfico e geomorfológico

O porto da Figueira da Foz, situado na foz do rio Mondego, delimita dois trechos costeiros de características morfodinâmicas distintas. O trecho a norte da barra está associado a uma praia semi-encastrada, entre Buarcos e a Figueira da Foz, e o trecho a sul é um sector caracterizado pela existência de uma praia contínua até S. Pedro Muel. O acesso marítimo às instalações portuárias efetua-se através de uma embocadura que é delimitada por dois quebra-mares (norte e sul) e pelo canal de navegação (Silva et al., 2015). A zona abrangida no estudo (Figura 2.1), encontra-se enquadrada entre o paralelo de  $40^{\circ} 10' N$  e ao meridiano de  $8^{\circ} 52' W$  (Cabo Mondego) e estende-se até cerca de 2,5 km para sul da embocadura (ver as Figura 5.2). Para norte da embocadura do rio Mondego e até ao cabo Mondego a costa tem uma direção NNW-SSE, apresentando uma orientação S-SSW a sul do rio Mondego (Cunha e Dinis, 1998; Cunha, 1999; Silva et al., 2015).

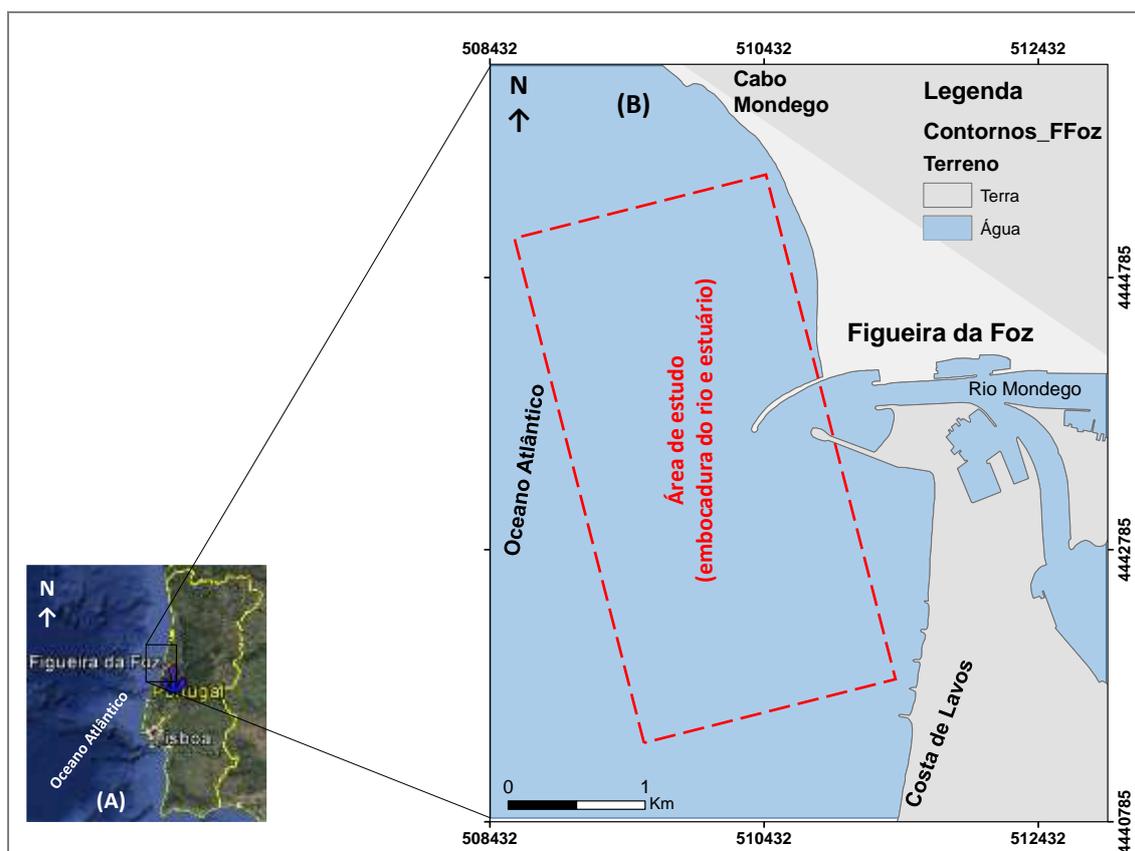


Figura 2.1. (A) Localização da área de estudo no mapa de Portugal continental (adaptado da Image Landsat, Google Earth, 2015). (B) Detalhes de área de estudo (retângulo de contorno vermelho), a embocadura do rio Mondego e parte do estuário, no Porto da Figueira da Foz.

Em termos de geomorfologia, Cunha & Dinis (1998) descrevem que, imediatamente a norte da foz do Mondego existe uma faixa arqueada de relevos de baixa altitude (entre 100 e 258 m), orientada segundo WNW-ESE, em cuja extremidade ocidental se salienta a Serra da Boa Viagem e o Cabo Mondego. No Cabo Mondego a costa está talhada em arriba, na base da qual se estende uma plataforma rochosa de abrasão marinha que se prolonga para além da linha de baixa-mar viva. Para norte inicia-se uma extensa faixa de praia arenosa que se prolonga até Espinho, numa direção geral NNE-SSW. Imediatamente para sul do Cabo Mondego a costa inflete para SE e, depois de Buarcos, vai rodando progressivamente para sul, até que, a cerca de 4 km a sul da embocadura do Mondego, retoma um traçado retilíneo com direção aproximada SSW. A norte da Serra da Boa Viagem e a sul do Mondego existem extensos campos dunares eólicos.

A embocadura do Porto da Figueira de Foz e o respetivo estuário, o estuário do rio Mondego, enquadram-se na Bacia Lusitânica, no centro da Margem Ocidental da Península Ibérica (MOI). A Bacia Lusitânica é uma bacia sedimentar que se desenvolveu durante o Mesozoico, entre o Triásico Médio-Superior e Cretácico inferior, na altura em que o rift se desloca para Oeste, ou seja, a dinâmica que resulta na fragmentação da Pangeia criando abertura do Atlântico do Norte (Kullberg et al., 2006; Terrinha, Kullberg, Alves & Lourenço, 2010). Caracteriza-se como uma bacia distensiva, pertencente a uma margem continental do tipo atlântico de rift não vulcânica, pois não apresenta sinais significativos de vulcanismo *syn-rift* quer em terra ou *offshore* (Pinheiro et al., 1992; Whitmarsh e Miles, 1995 apud Kullberg et al., 2006). Ocupa mais de 20 000 km<sup>2</sup> na parte central da Margem Ocidental Ibérica, alongando-se por cerca de 200 km segundo a direção aproximada NNW-SSE e por mais de 100 km na direção perpendicular. Cerca de 2/3 aflora na área continental emersa e a restante área encontra-se imersa na plataforma continental (Kullberg et al., 2006).

A evolução tectónica da Bacia Lusitaniana foi condicionada por falhas que se formaram durante o episódio de fracturação tardi-varisca aproximadamente entre os 300 e os 280 M.a, resultado de imposição de regime de cisalhamento direito à micro-placa ibérica nos seus paleolimites E-W setentrional e meridional, dos quais resultariam as falhas de desligamento esquerdo de direção aproximada NNE-SSW a NE-SW. Outras falhas orogénicas variscas de orientação N-S (falha de Porto-Tomar) e NW-SE foram também importantes na estrutura da Bacia Lusitaniana (Ribeiro et al., 1979; Ribeiro,

2002, apud Kullberg et al., 2006). Esta é a herança tectónica da Bacia que levou, durante o estiramento crostal mesozóico, à formação do conjunto de bacias marginais na Margem Ocidental Ibérica (Kullberg et al., 2006).

Como foi referido acima, a evolução tectónica da Bacia Lusitaniana está condicionada pela distensão mesozoica relacionada com a abertura do Atlântico Norte, na proximidade do Atlântico Central, domínios oceânicos distintos separados pela Zona de Falha de Açores-Gibraltar (ZFAG). Esta constitui limite transformante entre placas, que numa fase inicial do ciclo alpino, ou seja da rotura da Pangea, separou dois grandes continentes, a Laurásia a Norte e a Gondwana a Sul (Kullberg et al., 2006). A Ibéria localiza-se, assim, durante o Mesozóico, numa posição de charneira, cuja actividade está também relacionada com a evolução dos limites de placa: a sul, entre África e a Eurásia, limite transcorrente ao longo da Zona de Falha de Açores Gibraltar, e a Oeste, entre a Ibéria e a Terra Nova limite divergente associado à evolução do Atlântico. Nas fases iniciais de desenvolvimento do proto-Atlântico norte, desde o Triásico, a Ibéria encontra-se solidária ao continente norte-americano, mas por estiramento litosférico progressivo, acabará por ocorrer rotura crostal e conseqüente oceanização no final do Cretácico Inferior (Kullberg et al., 2006). A localização precisa desta fronteira a Este do Banco de Gorringe, na zona do estreito de Gibraltar, ainda hoje levanta algumas questões (Pinheiro et al., 1996; Terrinha et al., 2009). Análises de anomalias magnéticas complementadas por estudos paleomagnéticos sugerem que a separação entre a Península Ibérica e a América do Norte ocorreu durante os inícios do Cretácico (Galdeano *et al.*, 1989; Pinheiro, *et al.*, 1992; Whitmarsh e Miles, 1995). Muitos de estudos de reconstrução tectónica nas margens continentais da América do Norte e da Península Ibérica mostram que a margem sudeste dos grandes bancos do Canada é conjugada da margem Oeste Ibérica (Boillot e Capdevila, 1977; Srivastava e Verhoef, 1992; Kullberg et al., 2006).

A variedade de direcções das falhas (Figura 2.2) herdadas será responsável por forte compartimentação da Bacia; desta forma, a estruturação não se restringe à geometria dos seus bordos, mas outras orientações, nomeadamente de falhas orientadas entre NE-SW e E-W, vão desempenhar papel determinante na delimitação de sectores com evoluções tectono-sedimentares por vezes distintas. Este fator irá condicionar não apenas o estilo tectónico, mas também o seu conteúdo sedimentar (Kullberg et al., 2006). Os sedimentos da Bacia depositaram-se principalmente sobre as unidades da Zona de Ossa Morena e provavelmente também da Zona Sul Portuguesa (Dias & Ribeiro, 1995;

Kullberg et al., 2006), pertencentes ao Maciço Hespérico, atingindo, nalguns locais, espessura máxima estimada na ordem de 5 000 m (Ribeiro et al., 1979, apud Kullberg et al., 2006).

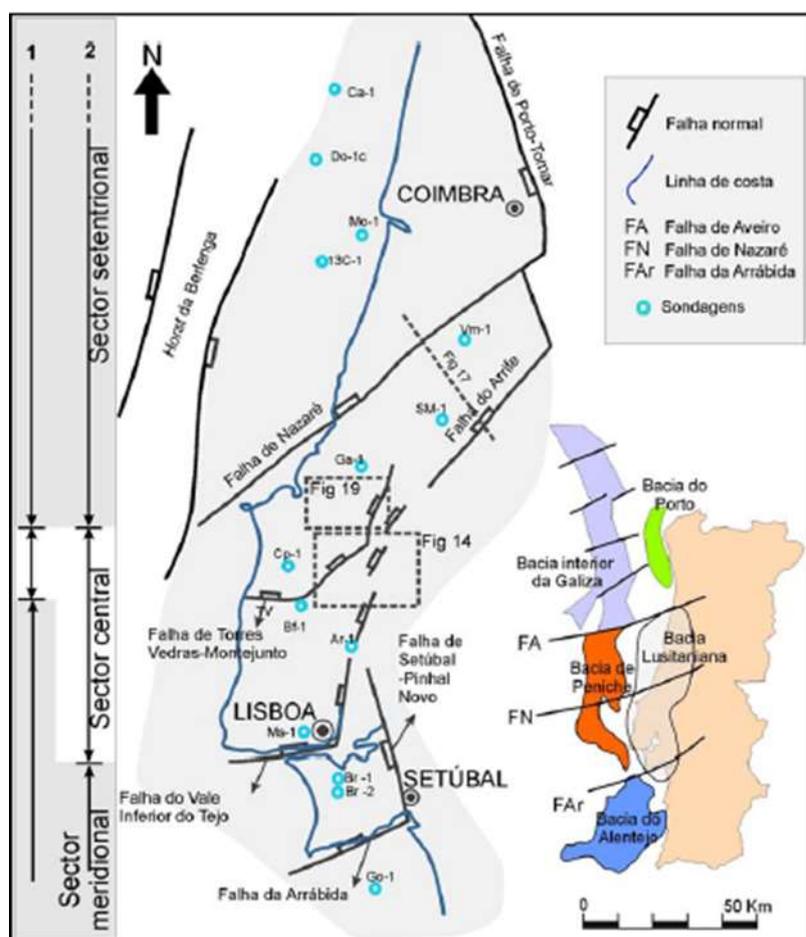


Figura 2.2. Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitânica e de outras bacias da Margem Ocidental Ibérica. Definição de sectores (1-Rocha e Soares, 1984; 2-Ribeiro et al., 1996, ) (Rocha e Soares, 1984; Ribeiro et al., 1996, apud Kullberg et al., 2006) e localização de perfis representados noutras figuras. Sondagens: Ca - Carapau, Do - Dourada, Mo - Moreia, Vm - Vermoil, Sm - S. Mamede, Ga - Gaiteiros, Cp - Campelos, Ar - Arruda, Ms - Monsanto, Br - Barreiro, Go - Golfinho (adaptado de Kullberg 2000; Alves, 2005, apud Kullberg et al., 2006).

Com base em variações de fácies e espessura das unidades litostratigráficas do Jurássico Inf., Rocha e Soares (1984) apud Kullberg et al., (2006) dividiram a Bacia em três sectores (Figura 2.2). Estes sectores coincidem com sectores tectónicos, bem limitados e diferenciados do ponto de vista geométrico e cinemático, e mantêm-se ativos para além do período referido. Um dos sectores é setentrional, limitado a Sul pela falha de Nazaré, com grande espessura de sedimentos durante o Jurássico Inferior-Médio e o

Cretácico Superior-Paleogénico, estes formados noutra contexto geodinâmico. Outro sector é o central, situa-se entre as falhas de Nazaré, a Norte, e de Montejunto-Arrife, a Sul, onde o Jurássico Médio aflora bem e apresenta fortes espessuras; corresponde,  *grosso modo*, à área aflorante do atual Maciço Calcário Estremenho (MCE). Para Ribeiro et al. (1996), Kullberg et al. (2000) apud Kullberg et al. (2006), o sector central está limitado, a Sul, pelo conjunto de falhas de Arrife-Baixo Tejo-Gargalo do Tejo com base no facto de serem as falhas, situadas entre a da Nazaré e da Arrábida, mais fortemente reativadas durante a inversão cenozóica da Bacia o que mostra serem descontinuidade mais importantes a nível crostal. O terceiro sector é o meridional, marcado pela importância da sedimentação do Jurássico Superior-Cretácico Inferior. Durante o Jurássico Superior a Bacia Lusitaniana sofre uma forte reestruturação, que leva a uma diferenciação de diversas sub-bacias, no sector central, a sub-bacia de Bombarral a Norte, confinando com as sub-bacias de Turcifal a Sudoeste e de Arruda a Sudeste, através da Falha de Torres Vedras-Montejunto (FTVM) (Kullberg et al., 2006; Montenat et al., 1998).

## 2.2. Enquadramento hidrológico e geológico

Um sistema fluvial em Portugal, à semelhança de muitas outras regiões, apresenta uma grande variabilidade de caudais, e por consequência, de condições de escoamento nos leitos. As variações naturais apresentam diferenças muito significativas entre a estiagem, com ausência de caudais nalguns troços fluviais, até grandes caudais por ocasião das cheias. Estas apresentam importância dominante na evolução natural da morfologia fluvial (Rocha & Freitas, 1998).

A bacia do rio Mondego tem uma orientação dominante Nordeste-Sudoeste e uma área total de 6644 km<sup>2</sup> (Rocha & Freitas, 1998). Este rio nasce na Serra da Estrela a 1547 m acima do nível do mar, na fonte de “Mondeguinho”, percorrendo cerca de 300 km até desaguar no oceano Atlântico, através da embocadura da Figueira da Foz (Ribeiro & Gamito, 2012). A montante, nos primeiros 50km o rio desce 750 m, entrando numa inclinação muito mais suave apenas a 80 m da Foz (Rocha & Freitas, 1998). Ao longo do seu percurso, este rio atravessa complexidades de formações rochosas da Serra da Estrela de sudeste para nordeste nos concelhos de Gouveia e Guarda. Depois atravessa formações graníticas e metamórficas no planalto Beirão no sentido sudoeste, também atravessa formações xistosas e quartzíticas entre Penacova e Coimbra, percorrendo uma vasta planície aluvial, cortando os concelhos de Coimbra, Montemor-o-Velho (Santos,

2009). Junto à sua foz forma-se o estuário do rio Mondego, com cerca de 25 km do seu troço desdobrado em dois braços (norte e sul) que voltam a unir-se junto à foz, formando entre si a pequena ilha de Murraceira (Santos, 2009). Em jeito de síntese, e segundo Rocha & Freitas (1998), as principais formações geológicas são granitos e xistos da Meseta Ibérica, passando a jusante para arenitos e margas, e finalmente formações sedimentares recentes nos vales aluvionares.

Os vales atravessados pelo rio Mondego, no geral, são divididos em três zonas distintas. A primeira zona é o Alto Mondego, que corresponde à parte do rio que corre ao de vales glaciares no maciço da Serra da Estrela. A segunda zona é o Médio Mondego, que corresponde à parte do rio que corre em vales encaixados entre a Serra da Estrela e Coimbra. Neste tramo do rio afluem os rios Dão, Alva e Ceira, e a terceira zona é o Baixo Mondego, que corresponde à parte do rio que corre em vales abertos, em zonas de planícies, a jusante de Coimbra até à Figueira da Foz. Neste tramo do rio afluem os rios Arunca e Pranto.

O rio Mondego, na semelhança de outros rios, e como é óbvio, tem contribuído na deposição e sedimentação, a partir de intemperismo das rochas regionais e locais e o respetivo escoamento superficial até ao seu nível de base. Contudo, vários estudos, incluindo os de Cunha et al. (1995) e Veloso-Gomes et al. (2007) reportam que modificação artificial tem contribuído na redução da eficácia de auto-drenagem fluvial e a tendência de assoreamento da barra de embocadura.

A área da Figueira da Foz abrangida pela Folha 19-C é constituída por terrenos com uma diversidade litológica cuja idade estende-se desde o Hetangiano-Triásico até os tempos modernos (Rocha et al., 1981). De acordo com estes autores, a litologia desta região pode ser sintetizada da seguinte maneira:

Do Jurássico, importa destacar as formações calcárias ( $J_d^1$ ), calcários margosos e margas ( $J_g^1$ ) e arenitos de Boa Viagem ( $J^{4-5}$ ) (Figura 2.3).

O afloramento de calcários ( $J_d^1$ , Lotaringiano), situa-se ao longo da estrada Figueira da Foz-Aveiro, a NW de Brenha. A parte superior do lotaringiano (mais de 25 m) é também visível ao longo da estrada Boa Viagem-Quiaios, a sul desta vila). A parte inferior e média do corte de Brenha (125 a 130 m) é constituída por bancos de calcários-compactos (0,20 a 1 m de espessura) alterando com leitos margo-calcários menos espessos. Algumas superfícies de bancos apresentam fauna de ostreídeos e outros

lamelibrânquios. Na parte superior (80 a 85 m), fossilífera, podem distinguir-se quatro conjuntos litológicos, dos quais os dois últimos se podem observar também na estrada Boa Viagem-Quiaios. O primeiro conjunto litológico compreende a alternância de calcários margosos compactos e margoso-calcários (25 a 30 m). O segundo conjunto litológico é representado por calcários margosos compactos (20 m) em bancos de 0,20 a 1,50 m. O terceiro conjunto litológico é formado por calcários margosos, de xistos betuminosos e de margas (25 a 30 m). O quarto conjunto litológico é formado por calcários maciços (7 m) em bancos espessos (0,20 a 0,40 m), com pátina esbranquiçada, bem marcados na morfologia da região. Apenas o Lotaringiano ( $J_d^1$ ) se conhece em Montemor-o-Velho e ele corresponde à arriba que limita a ocidente a serra de Montemor e contacta por falha com o Cretácico inferior arenítico. Ele compreende na parte inferior cerca de 40 m de calcários compactos sublitográficos, de cor creme ou cinzento-azulada, em bancos de 0,25 a 1m; alguns níveis são ricos de lamelibrânquios e braquiópodes. Na parte superior as camadas que fazem a passagem ao Carixiano compreendem 10 a 15 m de calcários margosos compactos em bancos de 0,15 a 0,20 m que alternam com níveis de margas cinzentas mais ou menos xistosas.

As formações de calcários margosos e margas ( $J_g^1$ , Toarciano) afloram em Quiaios e Maiorca, correspondendo a conjunto de terrenos relativamente tenros com alguns relevos bem marcados (níveis de calcários de plaquetas da base da zona de *Serpentinus*, horizonte de *Hildoceras sublevisoni*), muito bem visíveis em Brenha e na estrada de Quiaios-Boa Viagem. O Toarciano também aflora na região de Verride, correspondendo terrenos essencialmente margosos, sobretudo na base e no topo, onde é no entanto possível assinalar níveis mais compactos (“plaquetas”, nível de *H. sublevisoni*). A espessura é de cálculo difícil dado a série se apresentar fortemente fraturada. O Toarciano (superior) aflora no ângulo sudeste da carta, na extremidade do braquianticlinal de Degrácias. Observa-se aí cerca de 20 metros de calcários margosos relativamente compactos separados por margas cinzento-azuladas, com fósseis piritosas (*Cotteswold costulada* ( $Z_{IET}$ ) e *Hammatoceras sp.*). Na região de Montemor-o-Velho, o Toarciano corresponde a um afloramento Norte-Sul, com uma largura máxima de 200 metros, que se estende desde o vértice geodésico Cavalinha até à base da subida para o Castelo de Montemor-o-Velho. Portanto, a sul da estrada nacional, no início da subida para o castelo, o Toarciano aflora sob fáceis de margas acinzentadas com alguns bancos intercalados de calcários margosos.

---

Arenitos de Boa Viagem ( $J^{4-5}$ , Kimeridgiano-Portlandiano, no Jurássico superior). É uma espessa série arenítica que se estende deste o litoral, em direção WNW-ESSE, até ao Mondego, prosseguindo na região de Verride e a Sul de Serro Ventoso. Esta série assenta em discordância estratigráfica sobre os terrenos subjacentes. Trata-se de uma alternância de arenitos argilosos e argilas, cujas cores dominantes são vermelho para os arenitos e o amarelo, cinzento e esverdeado para as argilas. A espessura desta unidade é de cerca de 500 a 600 metros. Os arenitos são de grão fino com intercalações de grão médio a grosseiro, com tendência conglomerática. As argilas são plásticas, areníticas e micáceas. Segundo Rocha et al. (1981), o limite inferior da formação foi traçado acima dos calcários e margas com *Perna sp.* O limite superior é constituído pelo conglomerado caulínico grosseiro a muito grosseiro que forma a base do cretácico.

Do Cretácico, importa destacar as formações de arenitos de Carrascal ( $C^{1-2}$ ), calcários apinhoados de Costa de Anes ( $C^{2-3}$ ) e arenitos finos de Lousões ( $C^4$ ) (Figura 2.2).

Arenitos de Carrascal ( $C^{1-2}$ , Cretácico inferior e médio). Esta formação assenta em discordância sobre as formações do Jurássico. É constituída em geral por arenitos mais ou menos argilosos, finos a grosseiros e por argilas em geral arenosas. Do ponto de vista granulométrico, a formação apresenta uma diminuição no calibre dos grãos, da base para o topo. O limite inferior, como referenciado acima, é constituído pelo conglomerado caulínico grosseiro a muito grosseiro. O superior é marcado pelo aparecimento da formação carbonatada da Costa de Anes. Os afloramentos de Cretácico inferior e médio distribuem-se de forma harmoniosa circundando as estruturas anticlinais jurássicas. Estes afloramentos dividem-se em quatro grupos: afloramento da encosta sul da Serra de Boa Viagem, afloramento da região de Montemor-o-Velho, afloramento do anticlinal de Verride e afloramento da região de Soure.

Calcários apinhoados de Costa de Anes ( $C^{2-3}$ , Cenomaniano-Turoniano). Estes afloramentos distribuem-se na vertente sul da Serra de Boa Viagem e do flanco ocidental da Serra de Montemor-o-Velho, na região da Costa de Anes, Verride e Soure.

Arenitos finos de Lousões ( $C^4$ , Esmecheriano). Esta formação aflora na região de Soure e a N do rio Mondego. Trata-se de uma série arenítica que assenta em concordância, em cima do Tournoniano calcário fossilífero. De baixo para cima, esta série arenítica é formada por: areias de grãos médio a grosseiro de tonalidades vermelhas, areias de grãos fino avermelhadas e areias muito finas carregadas de moscovite. Sobre

esta sequência assentam em discordância os arenitos e argilas de Taveiro. Esta série pode ser observada em muitos locais, nomeadamente entre Vila da Rainha, onde diminui espessura, Lousões e Corujeira, assim como no sinclinal de Alencarce de Cima-Relvas e ainda no afloramento de Cavaleiros-Ega-Palhacana.

Do Paleogénico e Miocénico indiferenciado, destaca-se a formação argilo-gresosa e conglomerática da Senhora do Bom-Sucesso (**SM**) (Figura 2.3). Os afloramentos deste complexo estendem-se na metade sul do mapa, com maior desenvolvimento a Ocidente entre Lavos, Alqueidão, Paião, Marinha das Ondas e Vilarinho.

Do Pliocénico destaca-se a formação de areias, grés e argilas (**P**) (Figura 2.3). Está representada por complexo de areias, às vezes finas amareladas, com estratificação entrecruzada, com seixos, de grés argilosos e argilas. Forma série de afloramento que se estendem tanto a N como a S do rio Mondego. A N do rio Mondego a cobertura arenosa pliocénica estende-se a N da Serra de Boa Viagem entre Cova da Serpe, Alhadas, Maiorca e Quinta da Foja. Os depósitos encontram-se a cota máxima da ordem de 97 a NW de Santo Amaro das Amoreiras e descem para E até ao nível das aluviões entre Maiorca e Quinta da Foja. Em areeiro em exploração a Sul de Casal Grelo (N de Alhadas) e numa altura de cerca de 10 m, observam-se areias caulíníferas muito finas, brancas e amareladas, apresentando na parte superior intercalação de argila lignitosa com 0,60 a 0,70 m de espessura. A SE de Alhadas de Cima estendem-se areias amarelas-claras, com seixos, cobertos e ravinadas por outras de cor acinzentada, com seixos, mostrando em corte alguns enchimentos de canais. A Sul do rio Mondego, os terrenos pliocénicos constituem os seguintes afloramentos: de orientação N-S entre Paião e Marinha das Ondas que se desenvolvem entre 77 e 89 m de altitude. Entre Outeiro e Marinha das Ondas, onde existem saibreiras, trata-se de areias e saibros grosseiros, argilosos, acastanhados, com laivos avermelhados e com muitos seixos miúdos; afloramento NE-SW entre Torneiras e Cipreste, situados entre 83 e 108 m de altitude; afloramento entre Vila Nova da Barca (91 m), Abrunheira, Samuel, Palhais (138 m) e Casalinho, e afloramento entre Figueiró do Campo, Sanguinheira, Outeiro Redondo, Pouca Pena, Soure, Pinheiro, Paleão e Gasconho.

Do Plistocénico destacam-se os depósitos terraços de 25 a 40 m ( $Q^3$ ) e 8 a 20 m ( $Q^4$ ) (Figura 2.3). Os depósitos  $Q^3$ , afloram a N do rio Mondego na área de Moinho da Mata a N de Montemor-o-Velho. A sul do Mondego existem na área de Granja do

Ulmeiro e de Alfarelos. No vale do rio Pranto observam-se junto de Alqueidão e mais a Sul, a SW de Vilarinho. Finalmente, são conhecidos na área de Lavos onde se trata de depósito fluvio-marinho. Os depósitos terraços de 8 a 20 m (Q<sup>4</sup>) afloram na margem norte do rio Mondego entre Lares e Figueira da Foz. A SSE de Vila Verde, na beira da estrada para Lares o corte de um barranco apresenta a seguinte sucessão: na parte superior, areias argilosas consolidadas, grosseiras, acastanhadas, com alguns seixos dispersos e recortadas por diversas diáclases (espessuras de 15 a 20 m); pequena intercalação de argila cinzenta; areia grosseira e cascalheira com seixos bem rolados, com enchimentos de canais e indícios de solifluxão intraformacional. No outro corte, a SE do interior, mostra, de cima para baixo: na parte superior da barreira, areia amarelo-acastanhadas com intercalações de níveis de seixos, enchimentos de canais e indícios de solifluxão intraformacional; areia castanho-amarelada (2 m), e areia e cascalheira grosseira com calhaus bem rolados (4 m), um “coup-de-poing” acheulense antigo, rolado, foi encontrado “in situ”. Na margem sul do rio Mondego, os baixos terraços são conhecidos junto de Santo Varão e Ereira e, mais a jusante, na área de Lavos. Nos vales afluentes do vale do rio Mondego, os baixos terraços existem no vale do rio dos Mouros, junto de Ega e, mais a jusante, junto de Granja do Ulmeiro, assim como no vale do rio Anços a SE de Soure, e mais a norte, a montante e jusante de vila de Anços. No vale do rio Arunca um baixo terraço observa-se na área de Sobral de Baixo. Finalmente, nos vales do rio Carnide e do rio Pranto, são conhecidos baixos terraços a SE e NE de Vilarinho, junto de vinha da rainha e, mais a jusante, junto de Alqueidão.

Os terraços modernos são representados por dunas (d), areias de dunas (Ad), areias de praia (A) e aluviões (a). As dunas e areias de dunas formam extensa faixa de orientação N-S a qual se desenvolve a Sul do rio Mondego, desde o Cabedelo, passando por Cova e alargando progressivamente entre Costa, Lavos, Leirosa e Marinha das Ondas onde os depósitos de areias atingem largura máxima da ordem dos 6 km. Trata-se de areias de granulometria fina, bem calibrada. As areias assentam sobre formações mais antigas, miocénicas, pliocénicas e plistocénicas. As areias de praia estendem-se ao longo do litoral na parte ocidental do mapa, onde se observam nas seguintes áreas: a N do Cabo Mondego na zona de Murtinheira onde correspondem à extremidade sul de faixa N-S, desenvolvida na folha 19-A; entre o Farol Velho do Cabo Mondego, Buarcos e Figueira da Foz, e a Sul do rio Mondego entre Cabedelo, Cova, Costa, Leirosa, etc., e com prolongamento para a

folha 19-A. Trata-se na generalidade dos casos de areias às vezes com seixos e calhaus rolados os quais aparecem sobretudo na base.

As aluviões são bastante desenvolvidos ao longo do rio Mondego e também ao longo dos principais vales afluentes, tanto da margem direita como da margem esquerda. Ao longo do rio Mondego as aluviões estendem-se de montante para jusante entre Vila Pouca, Montemor-o-Velho e Figueira da Foz. São formações fluvio-marinhas.

### **2.3. Enquadramento climático, agitação marítima e regime de ventos**

A embocadura do Porto da Figueira da Foz é um local litoral situado na cidade da Figueira da Foz, no Distrito de Coimbra, Portugal, inserida na região Centro e sub-região do Baixo Mondego, com um clima do tipo temperado mediterrâneo de influência atlântico (Csb), segundo a classificação de Köppen (1936) (IPMA, 2016). Trata-se de clima temperado com verão seco e suave (IPMA, 2016). Os valores mais elevados da precipitação encontram-se nas zonas montanhosas com 2800 mm de média anual, descendo até aos 900 mm nas zonas costeiras, sendo a média de 1200 mm. A precipitação concentra-se entre Outubro e Março com um valor de 73% do total (Rocha & Freitas, 1998).

A maré na embocadura do estuário do Mondego é do tipo semidiurno e mesotidal (Bacelar-Nicolau et al., 2003). O regime de agitação marítimo neste troço costeiro apresenta as características do regime de ondulação da costa ocidental portuguesa: as distribuições da altura significativa e do período da onda mostram que as classes com maior frequência de ocorrência são de 0,5-2,5m (75%) e de 5-9 s (77%), respetivamente, e têm predominância do quadrante de noroeste (Silva et al., 2015). Em termos de condições extremas de agitação, os estudos de Costa et al. (2001) e Pinto et al. (2014) apud Silva et al. (2015) indicam que o número médio de temporais por ano é de 10,5 e, em 75% dos casos têm uma duração inferior a 2 dias e o padrão dominante é o de NW (58% do temporais observados) e o de W (13%), sendo os restantes 29% distribuídos com reduzido significado pelas outras direções. Nas imediações da embocadura do Porto da Figueira da Foz, a agitação marítima incidente sofre transformações acentuadas resultantes da refração da ondulação no cabo Mondego, nomeadamente, uma rotação da direção de propagação para o quadrante Oeste, associada a uma menor dispersão direcional, e uma diminuição da altura da onda (Freire et al., 2004, apud Silva et al., 2015).

Segundo descrito por Cunha e Dinis (1998), a região do Porto da Figueira da Foz é caracterizado por ventos fortes, mais frequentes com rumos dos quadrantes N e NW, e a frequência das calmas é baixa. O regime de ventos é muito irregular entre anos, mas uma das características mais constantes é o predomínio dos ventos de norte (nortada) nos meses de verão. Os ventos de maior velocidade média pertencem ao quadrante SW, que tem também a maior frequência de velocidades superiores a  $20 \text{ kmh}^{-1}$ . A ação regional destes ventos fortes do quadrante SW pode gerar ondas capazes de se propagarem com intensidade no interior do estuário, podendo explicar situações (conhecidas como “mareta”) muito prejudiciais para a atividade portuária.

#### **2.4. Transporte sedimentar e deriva litoral**

O transporte longitudinal de sedimentos ao longo das praias do setor litoral localizado entre o cabo Mondego e a Leirosa faz-se preferencialmente de norte para sul, sendo a maior evidência deste transporte a acumulação de sedimentos observada na praia da Figueira da Foz após a construção dos molhes que aprisionaram os sedimentos da deriva litoral. Esta acumulação de sedimentos tem sido alvo de análise e contribuído através de diversos estudos para a caracterização do volume de sedimentos em transporte neste trecho litoral (Silva et al., 2015). Estes autores referenciam alguns estudos que abordam a estimativa de caudais sólidos no litoral noroeste português, que inclui o trecho da área de estudo do presente estudo, desenvolvidos por Abecasis et al. (1962), Ferreira (1993), Cunha e Dinis (1998), Carvalho (2005) e Silva et al. (2012). A geomorfologia deste setor apresenta diferenças significativas a norte e a sul da embocadura do estuário do Mondego que determinam a dinâmica sedimentar. A existência do cabo Mondego no limite superior da área de estudo torna a análise do transporte sedimentar muito particular. Os estudos efetuados indicam existir transporte longitudinal que transpõe o cabo Mondego de norte para sul, alimentando o trecho costeiro entre Buarcos e a Figueira da Foz (Ferreira, 1993 apud Silva et al., 2015). Porém, para os regimes de agitação com rumo mais rodado a Oeste (inferiores a  $N283^\circ$ ), os resultados indicam que essa transposição pode ser interrompida (Abecasis et al., 1962; Cunha e Dinis, 1998 apud Silva et al., 2015). Estes autores constataram ainda que a deriva litoral na praia da Figueira da Foz, que alimenta o transporte sólido para sul através do molhe norte, apresenta uma variabilidade sazonal e interanual em função do regime de agitação ao largo.

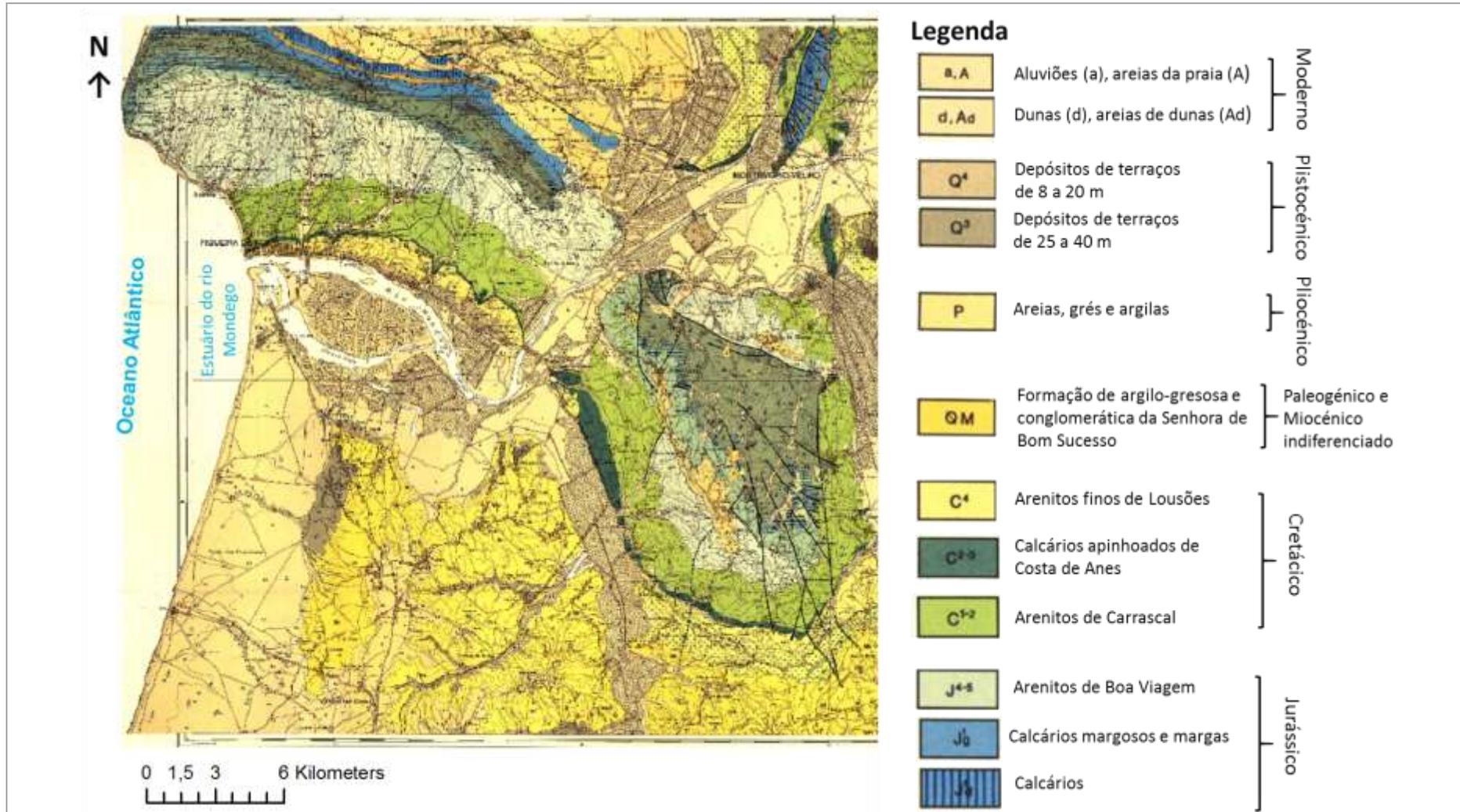


Figura 2.3. Parte da carta geológica de Portugal à escala 1:50 000 (Folha 19-C) mostrando formações geológicas da região de Figueira da Foz (adaptado de Rocha et al., 1981).

## CAPÍTULO 3. SEDIMENTOS, IMPORTÂNCIA E IMPACTOS ASSOCIADOS

### 3.1. Sedimentos e deposição sedimentar

Os sedimentos são fragmentos formados pelo intemperismo físico e químico das rochas de uma área fonte ou província geológica pré-existente, podendo ser transportados em suspensão ou como carga de fundo, durante o transporte pelos rios, vento e gelo, e depositados em locais mais baixos topograficamente. Podem ser de origem continental ou marinha. Tratam-se de materiais geralmente inconsolidados, ou pouco compactos, de tempos geológicos modernos, que não possuem composição mineralógica ou granulométrica predefinida, constituídos de misturas de cascalhos, areia, silte e argila, que no seu conjunto, formam sedimentos não coesivos e coesivos. Mas, a sua textura e composição reflete a sua origem e os processos geodinâmicos a que estiverem sujeitos tanto no mar como em Terra.

Compreende-se que os sedimentos não coesivos são constituídos por partículas individualizadas, em que seu transporte depende da dimensão do grão, forma, densidade ou massa específica e a sua posição em relação às outras partículas. Os cascalhos, e areias que caracterizam a generalidade de zonas costeiras são exemplos de sedimentos não coesivos.

Os sedimentos coesivos são partículas de pequenas dimensões (<63  $\mu\text{m}$ ) que apresentam características de agregação, constituídos por partículas fino-arenosas, silte-argilosas, argilominerais, detritos orgânicos, inorgânicos (elementos maiores e traço, etc.), gases, bactérias e água como resultado de floculação e adsorção (fenómenos explicados no capítulo 6 do presente trabalho). Trata-se de um grupo de partículas em que a sua resistência ao movimento inicial é forçada pela ação coesão entre as partículas (Portela & Reis, 2002; Coelho, 2011, in Coelho et al., 2011). Estes autores concordam que os agregados destas partículas apresentam uma área específica elevada pelo que tendem a adsorver espécies em soluções para diminuir o excesso de energia superficial, diferenciando-se dos não coesivos pela complexidade dos fenómenos físicos e químicos que estão sujeitos nos meios aquosos.

Tanto sedimento coesivos como não coesivos caracterizam os estuários e as zonas costeiras portuguesas. As areias finas, siltes e argilas, em particular, abrangem extensões significativas de habitats nos estuários portugueses (Portela & Reis, 2002; Coelho, 2011, in Coelho et al., 2011). Nestes ambientes, os finos tendem a se deslocar em locais mais

profundos e de baixa agitação marítima. Portanto, a distribuição dos sedimentos ao longo do leito de um estuário não é uniforme. Para além de um padrão longitudinal, os estuários também apresentam normalmente uma distribuição transversal de sedimentos. Estes padrões não serão objetos de análises neste estudo.

Entre transporte e sedimentação, há na natureza uma frequente continuidade e mistura dos processos que tornam essa separação bastante arbitrária. Os mecanismos de transporte têm duas ações em relação aos sedimentos: conduzirão, por um lado, a uma triagem granulométrica das partículas e, por outro lado, induzirão à construção de estruturas sedimentares características das condições hidrodinâmicas do ambiente de deposição (Pomerol et al., 2013). O transporte de partículas por um fluido depende da concentração de partículas e do regime de fluxo do fluido. Para concentrações baixas, as partículas são transportadas pelas forças das partículas que se deslocam, sendo no geral, transportadas por fluxo laminar (Figura 3.1A-(I)). Neste caso, as linhas de correntes são paralelas e distintas umas das outras. O fluxo escoia paralelamente a sua superfície limite e não há transferência de energias entre as diferentes camadas (Pomerol et al., 2013). Para as concentrações elevadas o escoamento ocorre em turbidez, não havendo transporte, no sentido estrito, pelo fluido, pois este e as partículas deslocam-se conjuntamente sob ação da gravidade (fluxo de massa por gravidade). Neste caso, as linhas de correntes entrecruzam-se e criam turbilhões complexos. Neste tipo de escoamento a massa descola-se para cima e para baixo em relação à direção geral de escoamento (Figura 3.1B-(I)). Essas turbulências têm pouca influência sobre a velocidade de escoamento; ao contrário, elas têm um papel importante no transporte das partículas, mantendo-as de modo mais ou menos durável, em suspensão (Pomerol et al., 2013). A passagem de um tipo de fluxo para outro é regido por um valor crítico de número de Reynolds ( $Re$ , Equação 3.1), que ilustra a relação existente entre as forças de inércia e a viscosidade dinâmica  $\eta$  (resistência de fricção interna que se opõe ao fluxo). No laboratório, em um tubo de raio  $l$ , um fluxo de densidade  $\varphi$  apresenta, para uma velocidade média  $V_m$ , um número de Reynolds igual a:

$$Re = \frac{\varphi l V_m}{\eta} \quad (\text{Eq.3.1})$$

Na natureza, para um fluxo superficial,  $l$  representa a espessura do fluxo. A passagem do fluxo laminar para o turbulento ocorre para  $500 \leq Re \leq 2000$ , ou seja,  $< 500$  indica o fluxo laminar,  $500 - 2000$  representa o fluxo de transição e,  $> 2000$  corresponde o fluxo turbulento (Figura 3.1-(II)). Contudo, essa passagem pode ser provocada pela presença de obstáculo.

O processo de floculação em estuários está principalmente associado com a presença água marinha, ocorrendo a partir de salinidade de 0,5 (Silvester & Hsu, 1997; Postma, 1967; Winterwerp, 2002, apud Couceiro, 2015). Os flocos já formados permanecem em suspensão se as flutuações das forças da velocidade vertical (difusão turbulenta) forem maiores que a velocidade de decantação. Contudo, os flocos são normalmente frágeis e rompem-se sob condições turbulentas. Desta forma, flocos maiores somente serão formados em menores velocidades de corrente, o que maximiza a sua deposição no fundo (Döbereiner, 1982; Couceiro, 2015). Contudo, as condições turbulentas impedem a formação de flocos grandes, e mantêm as partículas em suspensão permitindo que estas sejam carregadas e possivelmente exportadas para a região costeira. O processo de floculação dos sedimentos finos aumenta potencialmente a sua velocidade de decantação, e por consequência a sua retenção no estuário, o que torna estes ambientes filtros de materiais na transição continente-oceano (Schubel & Carter, 1984; Eisma, 1986, apud Couceiro, 2015). A deposição de sedimentos coesivos ocorre quando a tensão do fundo diminui abaixo de tensão crítica. A erosão de partículas finas do fundo normalmente acontece quando a tensão aumenta acima de um valor crítico. O valor crítico da erosão é maior ou igual ao da deposição (Manning et al., 2011 apud Couceiro, 2015).

A transferência de substâncias entre os rios e o oceano está intimamente relacionada com o processo de floculação na zona de turbidez máxima, que por sua vez aumenta a eficiência da filtração nos estuários. Como foi referenciado ao longo deste trabalho, a floculação em estuários é promovida pelo aumento da salinidade, elevada concentração de sedimentos, alta proporção de matéria orgânica e baixa corrente turbulenta (Silvester e Hsu, 1997; Krank, 1984 apud Couceiro, 1984).

As partículas sedimentares podem ser transportadas por floculação se sua densidade é inferior a 1, mas na maioria das vezes, elas deslocam-se nas massas líquidas. Na parte alta do fluxo, elas são transportadas em suspensão (permanente ou intermitente), enquanto que, na parte inferior próximo ao fundo (carga de fundo), o transporte faz-se por rolamento, saltação ou tração (Pomerol et al., 2013). De acordo com estes autores, a

probabilidade de arrasto (tração ou deslizamento) de uma partícula é função de seu tamanho e da energia do fluido. A força do fluido pode ser decomposta em uma força de soerguimento que se opõe à gravidade e uma força de tração. O modo de transporte (tração, saltação, suspensão) depende das características do fluxo (expressa sob a forma do parâmetro de Shield, número sem dimensão que expressa a tensão de cisalhamento no interior do fluido) e da dimensão da partícula. Quando a força da corrente diminui, as partículas em suspensão poderão sedimentar-se em um ambiente calmo. A velocidade de sedimentação (velocidade de limite de queda) de uma partícula de tamanho inferior a 0,1 mm, em suspensão, responde a lei Stokes (Equação 3.2), que integra as características da partícula (densidade, tamanho e forma) e os parâmetros do fluido (densidade, viscosidade e tipo de fluxo). A Lei de Stokes é determinada pela equação abaixo (Pomerol et al., 2013):

$$V_s = \sqrt{\left(\frac{3}{4}\right) \left(\frac{d \cdot g}{C_d}\right) \left(\frac{\Delta\varphi}{\varphi_f}\right)} \quad (\text{Eq.3.2})$$

Onde  $V$  é a velocidade limite de queda,  $d$  o diâmetro das partículas,  $g$  a gravidade,  $C_d$  o coeficiente de arrasto por tração (função do regime de fluxo (número de Reynolds) e na forma da partícula) e  $\Delta\varphi$  a diferença de densidade entre a partícula sólida ( $\varphi_s$ ) e aquela do fluido ( $\varphi_f$ ). No entanto, uma fórmula simplificada (Equação 3.3) pode ser utilizada no caso de partículas esféricas em um escoamento laminar (Pomerol et al., 2013):

$$V_s = \left(\frac{1}{8}\right) \left(d \cdot g \cdot \frac{\Delta\varphi}{\mu}\right) \quad (\text{Eq.3.3})$$

Onde  $\mu$  = viscosidade dinâmica (pascal.sec) (Pomerol et al., 2013).

Para partículas de tamanho superior a 1 mm, a velocidade de sedimentação segue a lei de impacto (Equação 3.4).

$$V_s = k\sqrt{d} \quad (\text{Eq.3.4})$$

Sendo  $d$  o diâmetro da partícula,  $k$  uma constante onde intervém a forma da partícula e  $\Delta\varphi$  a diferença de densidade entre a partícula sólida ( $\varphi_s$ ) e aquela do fluido ( $\varphi_f$ ). As partículas de tamanhos intermediários entre 0,1 e 1 mm seguem uma lei composta intermediária.

De acordo com o diagrama de Hjulström (Figura 3.1-(III)), descrito por Pomerol et al. (2013), existe uma relação entre o diâmetro de partícula e velocidade que mostra

campos de erosão, transporte e deposição. Nele estabelecem-se três domínios. Aquele da sedimentação, onde a corrente não tem energia suficiente para transportar partículas, aquele do transporte, onde isso se torna possível, e por fim, aquele da erosão, onde a corrente não só é capaz de transportar as partículas do tamanho considerado, mas pode, também, arrancá-las e repô-las em suspensão, se elas foram depositadas anteriormente.

As características descritas no Hjulström têm em conta o transporte mecânico de sedimentos. Contudo, também há que considerar o transporte químico (remoção de substâncias em solução), que juntamente com a ação das ondas e das correntes na dinâmica sedimentar dos estuários e zonas costeiras.

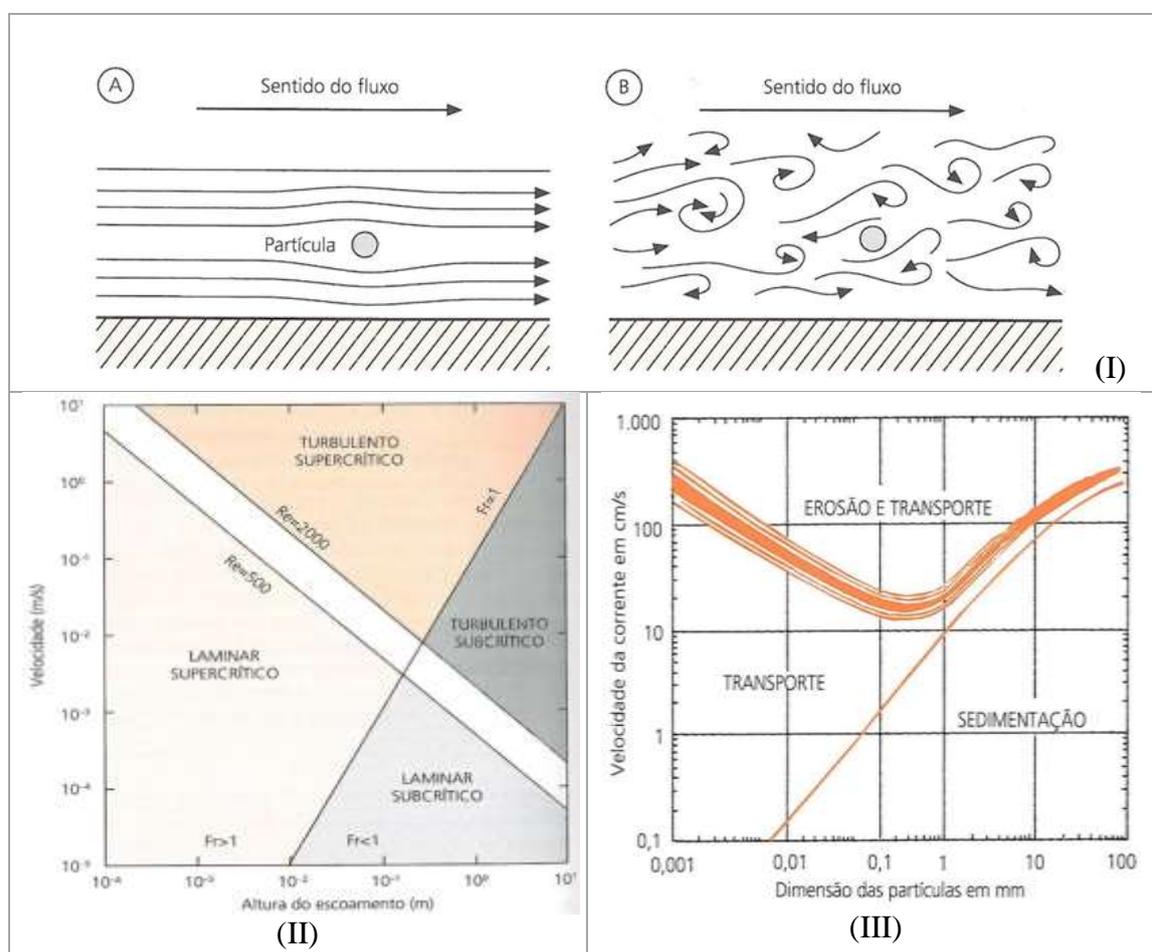


Figura 3.1. A-(I) Esquema de um fluxo laminar. B-(I) esquema de um fluxo turbulento. As setas representam as linhas de corrente. (II) Os regimes de fluxo livres em função dos valores críticos dos números de Froude e de Reynolds. (III) Diagrama de Hjulström mostrando os domínios: erosão – transporte – sedimentação.

Portanto, é óbvio que as rochas sedimentares se formam por meio de processos de desintegração mecânica e química de rochas primárias, seguidas por transporte, deposição

e consolidação dos produtos assim formados. As fontes das rochas sedimentares são as rochas ígneas primárias e suas equivalentes metamórficas, e as rochas sedimentares e metassedimentares recicladas (Choudhuri, 1997). Como rochas de superfície, as rochas sedimentares encontram-se no afloramento, em condições bastante próximas das do equilíbrio termodinâmico de seus minerais. Os minerais das rochas primárias (magnéticas e metamórficas) se formam sob condições de pressão e temperatura existentes a vários quilómetros de profundidade que são muito diferentes em comparação à superfície, e, portanto, não são estáveis quando expostas às condições atmosféricas e de efeitos de águas naturais (Choudhuri, 1997; Pomerol et al., 2013). A desagregação física das rochas resulta das suas descontinuidades ligadas à juntas sedimentares e diaclases, à compactação e/ou à tectónica, às condições de arrefecimento das prismas de derrames vulcânicos. Essas descontinuidades, que enfraquecem a rocha, são os locais preferenciais de circulação dos fluidos e do início da erosão mecânica. Por exemplo, nas zonas húmidas, o congelamento de água contida nas fissuras cria ruturas e libertação dos fragmentos durante o degelo (Pomerol et al., 2013). O intemperismo químico causa a descoloração da rocha, alteração dos grãos, como de muitos silicatos para argilas, e dissolução dos grãos. A água que penetra nas fissuras exerce uma ação de dissolução particularmente intensa nas rochas calcárias. A dissolução de carbonatos pode fazer seus resíduos serem deixados para atrás, uma areia de quartzo e lama, como no solo de terra vermelha (Tucker, 2014). A ação química na superfície é devida, principalmente, ao Oxigénio, ( $O_2$ ),  $CO_2$  (ou  $H_2CO_3$ ) e  $H_2O$ . A ação da água é a mais importante. Ela encontra-se na base de todas as alterações exógenas das rochas, pois comporta-se como um ácido fraco devido aos iões  $H^+$  livres que contém. Além da dissolução, a hidrólise é outro fenómeno envolvido pela ação da água no intemperismo químico. Como foi referenciado acima, a dissolução leva à decomposição total de um mineral em seus iões, como no caso da calcite ou da aragonite. Quanto mais elevada for a solubilidade dos minerais (como caso os das rochas salinas: halite e gipsite), mais forte será a dissolução (Pomerol et al., 2013). Segundo estes autores, a hidrólise é, em grande parte, ligada às propriedades particulares da molécula da água. O átomo de oxigénio, por possuir uma afinidade maior para os eletrões, torna a densidade eletrónica estaticamente mais forte do seu lado e, consequentemente, os centros de gravidade das cargas positivas e negativas não coincidem. Deste modo, molécula de água comporta-se como um dipolo eléctrico (polo  $H$  positivo e polo  $O$  negativo), e tende a atrair-se com outra e unir-se em conjunto

estruturado por ligações eletrostáticas (pontes de hidrogénio), mais fracas que ligações covalentes, mas que podem assegurar a estabilidade dos edifícios cristalinos (associações tetraédrica) no estado sólido. A força de atração frente a um ião determina a solubilidade. Esta força de atração depende do potencial iónico (relação entre a carga “Z”, e o raio iónico “ $r_i$ ”).

Pomerol et al. (2013) sublinha que a força de atração ocorre em três domínios. Um dos domínios é referente aos catiões solúveis (catiões básicos), com a relação  $Z/r_i \leq 3$ . A sua fraca carga atrai os dipolos da água para formar iões hidratados. Os catiões passam, assim, em solução e são levados com as moléculas de água. É notadamente o caso do Na (principal constituinte da água do mar), Ca e Mg, que serão removidos para os oceanos onde precipitarão para constituir calcários e dolomites. Outro domínio é o das precipitações de hidróxidos, com a relação  $3 \leq Z/r_i \leq 10$ . Esses catiões são mais atrativos frente à molécula de água. Essa atração provoca ruptura de uma das ligações do dipolo  $H_2O$  e o par eletrónico desloca-se para o ião. Os catiões precipitam em estado de hidróxidos insolúveis, originando os jazigos metalíferos residuais (por exemplo, bauxita para alumínio). O último domínio é o dos aniões óxidos solúveis, com  $e/r_i \geq 10$ . Em razão do seu potencial iónico elevado, esses iões exercem uma forte atração sobre o polo negativo da molécula de água (oxigénio) e provocam a ruptura do dipolo e libertação de  $H^+$ , para formar por exemplo, iões  $CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  e  $SiO_4^{4-}$ . Esses aniões solúveis serão, assim, removidos pelas águas até o oceano, onde se recombinarão com os catiões ( $Ca^{2+}$  principalmente) para formar as rochas sedimentares químicas e bioquímicas, como calcários ( $CaCO_3$ ) e dolomites ( $CaMg(CO_3)_2$ ), gipsite ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) e rochas fosfatadas, tal como apatite ( $Ca_5[(F, OH)(PO_4)_3]$ ). Portanto, a alteração química ocorre como um processo de segregação, que separa uma fase residual (os hidrolisados) de uma fase móvel (catiões e aniões óxidos solúveis), enquanto que a sedimentação química e bioquímica aparece como um processo de recombinação entre essas duas últimas categorias de elementos (Pomerol et al., 2013). O oxigénio é outro agente, além da água, que intervém nos processos de alteração. Este agente provoca oxidações (ferro, manganês) e a transformação dos sulfuretos em sulfatos, muitas vezes, acompanhados de mudanças de cor. (Pomerol et al., 2013). Assim, dois fatores determinam a cor de muitas rochas sedimentares: a oxidação do ferro e o conteúdo da matéria orgânica. Por exemplo, quando o ferro férrico ( $Fe^{3+}$ ) está presente, normalmente ocorre como hematite e, mesmo em pequenas concentrações de menos de 1% produz uma cor vermelha na rocha (Tucker,

2014). Quando as formas hidratadas de óxidos férrico, goethite ou limonite estão presentes, os sedimentos tem uma cor amarelo-castanho ou amarelo-queimado. Em muitos casos, as cores amarelo-castanho resultam da alteração recente e da hidratação-oxidação de minerais de ferro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), como a pirite ou siderite, ou calcite ferrosos ou dolomite ferrosa. A matéria orgânica em rochas sedimentares produz cores cinzentas e, com o aumento do teor, passa para a cor preta. Sedimentos ricos em matéria orgânica geralmente formam em condições anóxicas (Tucker, 2014). O dióxido de carbono, sendo outro agente que atua na alteração química, reforça a ação da água e facilita a dissolução dos carbonatos ou dos bicarbonatos. Os ácidos sintetizados pelas bactérias e pelas raízes dos vegetais ou da matéria orgânica putrefata, também são agentes muito ativos de destruição das rochas. O mesmo ocorre com as chuvas de tempestade (ricas em ácido nítrico) e os fumos das indústrias (Pomerol et al., 2013). Em suma, a passagem de um estágio de alteração para outro depende das condições de clima (temperatura e pluviometria) da região. O clima da região da área de estudo, segundo a classificação de Köppen (1936), é temperado mediterrânico de influência atlântica (IPMA, 2016). Em clima temperado, os fatores de alteração da rocha são vastos, mas de potência moderada. A geada intervêm somente na montanha e no inverno, nas regiões continentais. A decomposição química tem um papel muito mais importante, e a alteração conduz, geralmente, à formação de areia grosseira, que no caso de granito, é essencialmente formada por minerais inalterados como o quartzo, incorporados em uma argila colorida de óxido de ferro (Pomerol et al., 2013).

### **3.2. Importância dos sedimentos e impactos associados**

A cobertura sedimentar como o resultado de intemperismo de processos naturais e/ou artificiais e ocorrência de assoreamento, representa importantes papéis, promovendo benefícios naturais, e sociais como elemento de extrema importância para o desenvolvimento humano. Mas, a sua incorreta gestão tem promovido enormes prejuízos económicos e sociais.

Como foi referido na nota introdutória (Capítulo 1), os sedimentos são elementos essenciais, integrantes e dinâmicos das bacias hidrográficas. Estes elementos têm um valor ecológico bastante significativo. Para além de serem a base para o suporte da vida aquática como habitats das comunidades bentónicas, fornecem nutrientes (Brils, 2008) e influenciam na penetração da luz, podendo contudo, prejudicar certas comunidades, como

a fitoplanctónica, nerítica e também bentônicas na distribuição do oxigénio e outros nutrientes essenciais à vida. Como Souza (2006) enfatiza, o aumento da turbidez da água pode impedir o desenvolvimento de ovo e larva dos peixes e reduzir a disponibilidade dos alimentos. A turbidez da água pode resultar de atividades de extração de sedimentos. Portanto, a extração de sedimentos tem impactos ecológicos e morfológicos. A nível ecológico a flora e fauna é completamente destruída no local da extração de sedimentos. Estes efeitos são tão importantes quanto maior for a profundidade de extração (Van Rijn & Walstra, 2002 apud Silva, in Coelho et al., 2011), e podem repercutir-se a todos os animais que dependem da fauna existente do fundo (Silva, 2011, in Coelho et al., 2011); a nível morfológico, a extração de sedimentos modifica localmente a batimetria através da criação de uma escavação e, eventualmente modifica a granulometria do sedimento do fundo e rugosidade do fundo, através, também, da alteração das formas de fundo. Por outro lado, a escavação resultante modifica as correntes médias e o campo de agitação marítima. Dado que o transporte sedimentar é determinado pelo campo de velocidades, a extração de inertes pode modificar o balanço sedimentar na zona costeira (Silva, 2011, in Coelho et al., 2011), mas em certos casos, a turbidez resultado da dinâmica sedimentar, e a fração fina do fundo de estuários de mangais, segundo Brito e Pena (2007), pode facilitar o crescimento de muitos juvenis de camarões peneídeos como condições de refúgios à predadores.

Assim, depósitos sedimentares, principalmente a fração fina, cumprem papéis essenciais no nicho ecológico da fauna e flora nos ecossistemas aquáticos como meios fluviais, ocupando as planícies de inundação dos rios, depósitos em mangais e sapais de meios estuarinos. Outrossim, tal como afirmam diversos estudos, incluindo o de EP-PAAS, (2012), os sedimentos têm a capacidade de adsorção, retenção e libertação de minerais e microrganismos contribuindo, em muitas situações, para a reposição do equilíbrio da água através da filtragem, devido à retenção de elementos poluentes.

Os sedimentos também têm um valor socioeconómico acrescido quando utilizados como materiais diversos fins, que incluem materiais para construção civil (fontes de matéria-prima: cascalho, areia, lodo, etc.), possibilitando, no caso da fração fina, quando combinados com estabilizadores de contaminantes de lodos, como o cimento e a cal viva, podem ser utilizados para formar novos produtos em diversas aplicações como os agregados leves para betão, além de tijolos e blocos. No caso de fração grosseira, podem ser utilizados em bases ou sub-bases de pavimentos ou como agregados para betões, e

utilizados no geral, para aterros e enchimentos, como por exemplo, alimentação artificial das praias contra a erosão costeira e construção de estradas.

Em Portugal, por exemplo, as estratégias contra a erosão têm sido baseadas na construção de estruturas rígidas de proteção costeira. Estas estruturas têm efeitos laterais, constituindo agentes de proteção num local mas de erosão em locais vizinhos. Esta tendência tem vindo a ser modificada com soluções alternativas como alimentação artificial das praias (Silva, 2011, in Coelho et al., 2011). Apesar deste método não constituir a solução do problema, segundo estes autores, poderá em alguns casos mitigá-lo.

Em Portugal, a extração de areia da plataforma continental não tem ainda uma expressão significativa (Silva, 2011, in Coelho et al., 2011). Assim, espera-se que a procura de inertes de origem marinha aumente significativamente no futuro próximo, pelo fato destes locais constituírem fontes de sedimentos (Roos, 2004; Van Rijn et al., 2005 apud Silva, 2011, in Coelho et al., 2011). Contudo, um dos principais problemas associados à utilização dos sedimentos (dragados) como agregados no betão, segundo Velosa & Cachim, (2011), in Coelho et al., (2011), é naturalmente o seu potencial elevado de teor em cloretos e consequente diminuição da durabilidade do betão armado através da criação de um ambiente propício para o aparecimento de corrosão nas armaduras. Os excessos de sais cloretos podem ser minimizados pela decantação e lavagem. Comparativamente, a utilização de agregados vindo de sedimentos dragados para betões e argamassas pode proporcionar algumas vantagens em relação aos agregados extraídos das pedreiras. Quanto à sua forma superficial, os dragados possuem gravilhas mais arredondadas que os materiais extraídos da pedra (Velosa & Cachim, 2011, in Coelho, 2011). Estudos apontam que a existência de maiores quantidades de gravilhas arredondadas nos dragados devido à ação do mar contribuem para maior trabalhabilidade do betão. A maior trabalhabilidade permite uma redução da razão água/cimento o que por sua vez conduz a uma maior resistência e durabilidade do betão. A forma arredondada dos agregados provenientes das dragagens confere-lhes também potencial de utilização em coberturas (Velosa & Cachim, 2011, in Coelho, 2011).

Dentro de impactos associados a sedimentos importa referir também os impactos da hidrodinâmica sobre os sedimentos e marcas sedimentares associadas aos modos de transporte e de deposição. Assim, a hidrodinâmica do meio de transporte e de deposição (ou aerodinâmica no caso de sedimentação eólica) vai produzir três tipos de efeitos sobre

os sedimentos: uma seleção granulométrica (já analisada no capítulo 4), um afeiçoamento peculiar das partículas (morfoescopia – examinação a partir da lupa binocular o estado de superfície dos grãos, e exoscopia – examinação da superfície de grãos no microscópico eletrónico de varrimento) e, a produção de marcas e estruturas sedimentares mais ou menos características, como por exemplo turboglifos (marcas de erosão, ou seja, marcas de escavação muito difundidas; trata-se de sulcos lingóides, centimétricos a decimétricos, cujo eixo principal é paralelo à corrente e aponta no sentido contrário a ela, e resultam da ação de turbilhonamento da corrente no nível do fundo). A análise de registos desses processos nas séries fósseis, segundo Pomerol et al. (2013), é uma abordagem importante para a reconstrução dos ambientes de deposição. Mas, estas marcas não são objetos de uma abordagem detalhada neste estudo.

Importantes recursos naturais podem também ser extraídos de camadas ou corpos sedimentares, tais como halite, diamante, ferro, ouro, chumbo e manganês, entre outros. Como bem foi referido por EP-PNAAS (2012), os sedimentos desempenham um papel essencial na sustentabilidade dos países, e a sua qualidade favorece, direta ou indiretamente, a saúde, a segurança e o bem-estar da população.

Em alguns casos, não tão poucos na atualidade, sedimentos poluídos por elementos-traço enriquecidos, como os metais pesados (arsénio, zinco, cobre, cádmio, etc.) e outros contaminantes Bifenilos Policlorados (PCB), Hexaclobenzeno (HCB), Hidrocarbonetos aromáticos (PAH), fluoretos, entre outros, podem contaminar até mesmo a cadeia alimentar e provocar o efeito de biomagnificação, dada a facilidade com que aderem às partículas de argilas e/ou à matéria orgânica associados aos sedimentos (efeito de floculação e adsorção). Esta contaminação pode agravar-se na medida que estes poluentes são revolvidos e dispersos no meio aquoso pela atividade de dragagem, peso embora que estas atividades sejam essenciais e indispensáveis para a navegabilidade de rios, estuários e a operacionalidade dos portos.

Todavia, como afirmam EP-PNAAS (2012), os sedimentos, a par de solos, raramente têm sido considerados como um domínio ambiental prioritário, em resultado da ausência de uma cultura cívica que valorize este domínio, baseada no conhecimento rigoroso dos problemas e na capacitação técnica das entidades e agentes diretamente envolvidos.

**CAPÍTULO 4. MATERIAIS E MÉTODOS****4.1. Metodologia**

A metodologia seguida neste trabalho consistiu em três etapas principais. A primeira etapa prende-se com a descrição da planificação das campanhas geofísicas, a aquisição de dados geofísicos e a recolha de amostras de sedimentos do fundo marinho na embocadura do Porto da Figueira de Foz. Esta campanha foi realizada em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto de Aveiro e da Figueira da Foz (APAFF S.A.). Os dados geofísicos adquiridos foram processados pela equipa do laboratório de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade de Aveiro, e cedidos para este trabalho. No mesmo período desta campanha o autor esteve a realizar um estágio profissional relacionado com as atividades de prospeção de agregados e dragagens no canal de acesso do Porto da Beira, Moçambique, na Empresa de Dragagem de Moçambique, com o propósito de aprofundar os conhecimentos práticos sobre a operacionalidade de métodos geofísicos através de sonda de batimetria multifeixe, e atividades de dragagens por dragagem de sucção autotransportadora.

A segunda etapa consistiu na georreferenciação da localização das amostras de sedimentos utilizando o *software* ArcGis 10.1. Os dados de localização das amostras cedidos pela Universidade de Aveiro para este estudo foram projetados no sistema de coordenadas UTM WGS84 29N. Nesta etapa inclui-se a caracterização da geologia e hidrologia da área do estudo, estudos de laboratoriais e a cartografia dos mapas que ilustram a distribuição espacial dos principais resultados deste trabalho. Os métodos adotados neste trabalho foram selecionados tendo em conta os objetivos estabelecidos e o tipo de amostras recolhidas. Deste modo, foram aplicados métodos com o objetivo de efetuar a análise granulométrica, mineralógica e geoquímica das amostras.

A última etapa consistiu na interpretação dos resultados granulométricos, mineralógicos, geoquímicos e as suas respetivas análises estatísticas, e a interpretação conjunta dos dados granulométricos com os de sonar de varrimento lateral. Os resultados são acompanhados de mapas de distribuição espacial das variáveis analisadas.

Na Figura 4.1 apresenta-se esquematizada a metodologia seguida neste trabalho. A descrição mais pormenorizada de cada uma das metodologias é feita nas secções seguintes deste presente capítulo.

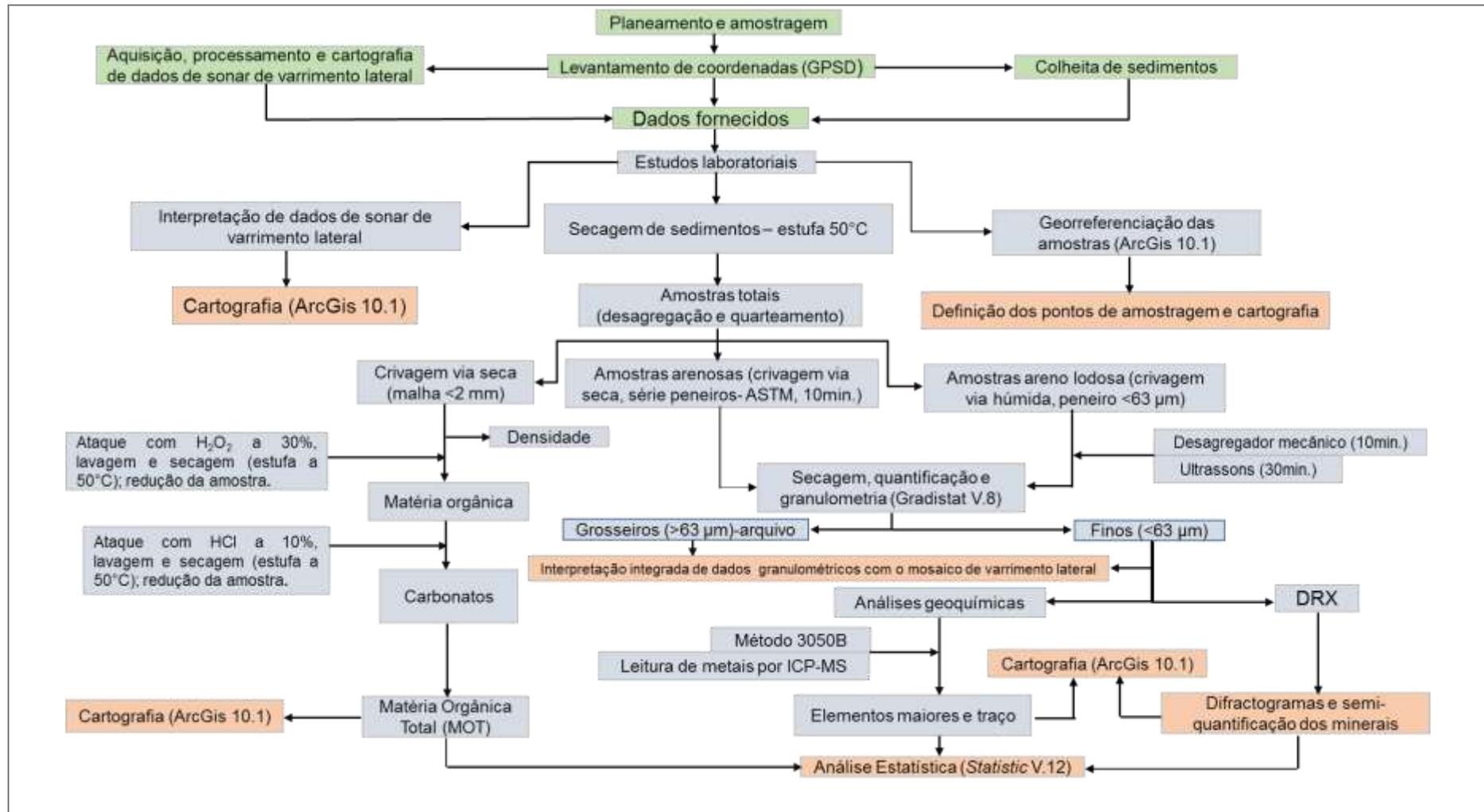


Figura 4.1. Representação esquemática da metodologia aplicada neste trabalho.

## 4.2. Dados geofísicos e amostragem de sedimentos

Os dados utilizados neste trabalho consistiram em dados geofísicos e amostras de sedimentos colhidos na embocadura do Porto da Figueira da Foz durante a segunda campanha geofísica realizada nos dias 18 e 20 de Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro para a Administração do Porto de Aveiro e da Figueira da Foz (APA S.A.), no âmbito de projeto de investigação sobre o estudo da dinâmica sedimentar na embocadura da barra do Porto da Figueira da Foz. Os dados geofísicos (dados de sonar de varrimento lateral adquiridos e processados), os pontos de amostragem e as amostras de sedimentos foram cedidos para este trabalho. A zona abrangida no estudo, como se referiu no capítulo 2, encontra-se enquadrada entre o paralelo de 40° 10' N e ao meridiano de 8° 52' W (Cabo Mondego) e estende-se até cerca de 2,5 km para sul da embocadura do Rio Mondego (Figura 4.2). Para norte da embocadura do rio Mondego e até ao cabo Mondego a costa tem uma direção NNW-SSE, apresentando uma orientação S-SSW a sul do rio Mondego (Cunha & Dinis, 1998; Cunha, 1999).

Cerca de 4 Km<sup>2</sup> da área em estudo foram amostrados, tendo sido colhidas 36 amostras de sedimentos (Silva et al., 2015; L. M. Pinheiro, com.pessoal). A aquisição de dados geofísicos foi efetuada recorrendo a um sistema combinado de *Sonar de Varrimento Lateral* e *Chirp Sonar*, da marca *EdgeTech*, modelo *SB-512i* do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha do laboratório associado ao CESAM e do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (Figura 4.3). O levantamento geofísico foi efetuado a bordo da embarcação *Ecoalgaventura*. Durante toda a campanha o posicionamento dos dados geofísicos foi efetuado por Sistema de Posicionamento Geográfico Diferencial (GPSD) com correções RTK (*Real time Kinematics*). Neste trabalho são descritos apenas os dados de sonar de varrimento lateral disponibilizados para este estudo. Estes foram utilizados para caracterizar os sedimentos de fundo da área em estudo e efetuar a sua cartografia.

O levantamento de sonar de varrimento lateral foi efetuado em dupla frequência a 100 KHz e 400 kHz, com um espaçamento entre linhas que variou entre os 30 e os 130 metros, o que proporcionou uma cobertura da área em estudo com uma sobreposição de 50%, correspondendo deste modo, os valores dentro dos intervalos recomendados (Henriques et al., 2012); de acordo com estes autores, para se obter um mosaico de boa qualidade as linhas realizadas devem ter um espaçamento definido de modo a existir pelo menos 30 a 50% de sobreposição entre as linhas.

Durante a aquisição, os dados geofísicos foram gravados em formatos digital da Edgetech, “JSF” e “XTF”. O equipamento (sonar) foi rebocado ao centro da embarcação, imerso a uma profundidade aproximada de 1,5m. Na Tabela 4.1 estão indicadas as especificações técnicas do sonar de varrimento lateral. Ao longo da campanha foi mantida uma velocidade constante de 3 a 4 nós, e foi utilizado o *software ArcPad* da ESRI, tendo sido projetadas nele as linhas planificadas para as campanhas (sobre a batimetria da área de estudo do ano 2013 fornecida pelo APAFF S.A.). De modo a seguir o rumo da navegação e a posição da embarcação em tempo real foi usado um GPSD. Neste levantamento foi adquirido um total de 37 linhas de sonar de varrimento lateral. Foram ainda recolhidas 36 amostras de sedimentos. Para a seleção dos pontos de amostragem recorreu-se aos dados já processados do primeiro levantamento sísmico (9 e 10 de Dezembro de 2014), e à interpretação preliminar dos dados de sonar de varrimento lateral a bordo durante a sua aquisição (L. M. Pinheiro, com. pessoal). O equipamento utilizado para recolha de sedimentos foi uma draga *Petit Ponar*. A Figura 4.2 mostra a localização dos 36 pontos de amostragem de sedimentos.

Os dados de sonar de varrimento lateral foram processados pela equipa do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha da Universidade de Aveiro, usando o *software PRISM (Processing of Remotely-sensed Imagery for Seafloor Mapping)*. Os dados de navegação e o mosaico de sonar de varrimento lateral processado e georreferenciado foram cedidos para este estudo e inseridos pelo autor numa base de dados em *ArcGis10.1* e posteriormente interpretados em conjunto com os dados granulométricos.

Tabela 4.1. As principais características do sonar de varrimento lateral usado na campanha oceanográfica em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro (Pinheiro et al., 2010).

<b>Características Técnicas de Sonar de Varrimento Lateral</b>	
Frequência dupla simultânea	100 a 400 KHz
Alcance lateral máximo	500m a 100 KHz 150m a 400 KHz
Largura do feixe sonar e resolução espacial ao longo da linha	100 KHz: 1,08 deg or 1,90m @ 100m 400 kHz: 0.56 deg or 0,96m @ 100m
Resolução através da linha	100 KHz: 6,3cm 400 KHz: 1,8cm

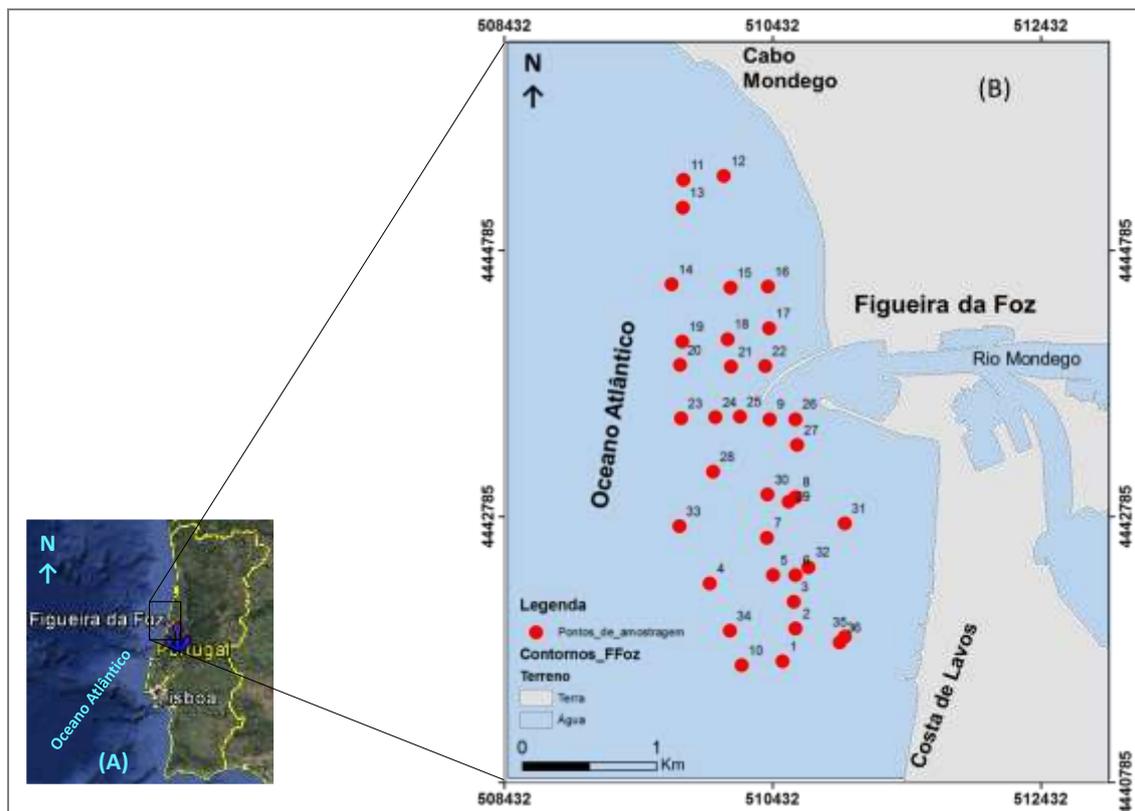


Figura 4.2. (A): Localização da área de estudo no mapa de Portugal continental (adaptado de Image Landsat, Google Earth, 2015). (B): Localização de estações de amostragem na área de estudo (pontos a vermelho), a embocadura do Porto da Figueira de Foz.



Figura 4.3. Sistema combinado Chip Sonar / Side Scan Sonar Edgetech SB- 512i utilizado durante a campanha oceanográfica realizada pela Universidade de Aveiro em Setembro de 2015 (Pinheiro et al., 2010).

#### 4.2.1. Fundamentos sobre a aquisição e processamento de dados de Sonar de Varrimento Lateral

Embora a aquisição e o processamento dos dados de sonar de varrimento lateral não tenham sido efetuados pelo autor desta tese, com vista à sua correcta interpretação apresentam-se de seguida os fundamentos do método e princípios básicos do seu processamento.

O sonar de varrimento lateral é um dos métodos acústicos usados para investigar de forma contínua e precisa o fundo marinho, quer para identificação de estruturas na topografia do fundo, como por exemplo a distribuição dos sedimentos superficiais e formas do fundo, quer no estudo da sua geologia e na deteção de objetos de origem antropogénica, tais como destroços de navios e cabos submarinos (Pinheiro et al., 2011).

Os sistemas de Sonar de Varrimento Lateral são constituídos pelo sonar propriamente dito (vulgarmente designado de “peixe” ou *tow-fish*, ilustrado na figura 4.3), que é rebocado por uma embarcação e ligado a um dispositivo de gravação (Figura 4.4A). Baseiam-se na emissão de 2 feixes acústicos de alta frequência por dois transdutores, um em cada lado, submersos e inclinados em relação à vertical (Cunha & Dinis, 1998; Cunha, 1999). Cada transdutor é constituído por um conjunto linear de elementos piezoelétricos, geralmente de natureza cerâmica, que emitem e recebem energia acústica dentro de um determinado intervalo de frequência que depende do tipo de sistema (Jones, 1999, *apud* Pinheiro et al., 2011). É a vibração dos transdutores que gera pulso acústico (Vize & Coggan, 2005; Huff, 2008). Portanto, os transdutores enviam pulsos num feixe em forma de leque, com um ângulo horizontal (*along-track*) muito pequeno ( $\theta \sim 1-2^\circ$ ) e um ângulo vertical (*across-track*) bastante largo ( $\varphi \sim 50-70^\circ$ ) (Figura 4.4B). Por cada pulso emitido, é obtido um varrimento acústico segundo uma linha perpendicular à direção do movimento da embarcação (*across-track*) (Pinheiro et al., 2011). À medida que a embarcação avança, as sucessivas linhas correspondentes a cada pulso formam, por justaposição, uma imagem (Figura 4.4A) que representa a magnitude dos ecos (retrodispersão) em função da distância ao transdutor (Jones, 1999; Xu, 1998 *apud* Pinheiro *et al.*, 2011).

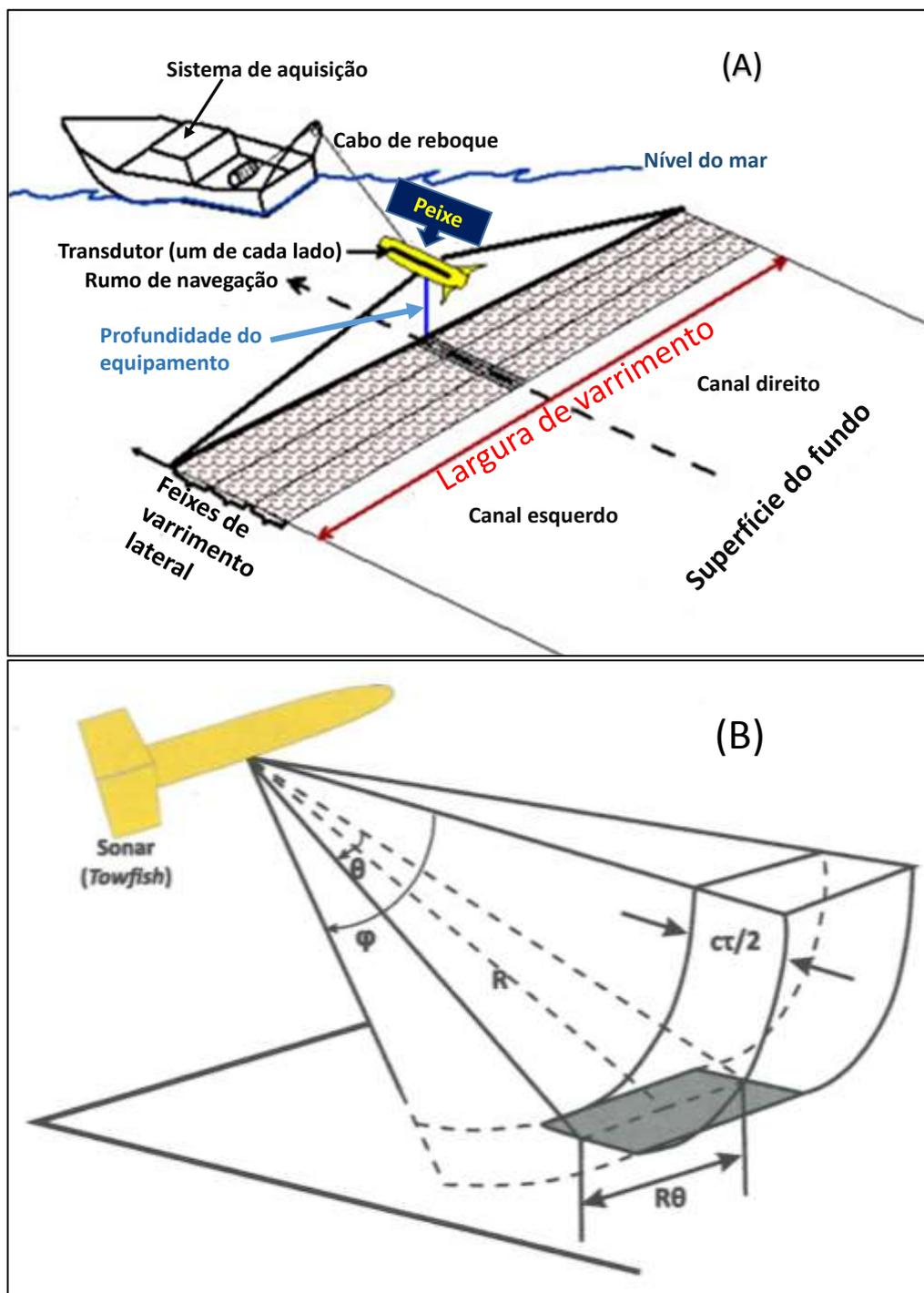


Figura 4.4. (A): Representação da construção da imagem de sonar de varrimento lateral à medida que a embarcação avança (adaptado de: [http://www.jornaljovem.com.br/edicao18/antartida\\_pesquisas\\_icebergs.php](http://www.jornaljovem.com.br/edicao18/antartida_pesquisas_icebergs.php), acesso em 03/04/2016). (B): Representação esquemática da geometria do pulso de um sonar de varrimento lateral (adaptado de Xu, 1998, in Pinheiro et al., 2011).

A capacidade de distinguir dois ou mais objetos próximos (resolução) é relacionada com a área insonificada por cada pulso (*footprint*), sendo principalmente

função da forma do feixe acústico e do comprimento do pulso. Assim, a área insonificada na direção do movimento da embarcação (*along-track*),  $\Delta x$  (Equação 4.1) é função do ângulo horizontal do feixe  $\theta$  (em radianos) e o alcance,  $R$  (Nishimura, 1997; Blondel, 2009).

$$\Delta x = R\theta \quad (\text{Eq.4.1})$$

Quanto maior o alcance (distância do sonar à zona de incidência do fecho), maior será  $\Delta x$  e, conseqüentemente, menor será a resolução espacial *along-track*. Deste modo, com o aumento da distância ao sonar, a área da insonificação do feixe é maior, pelo que a distância entre objetos que o sistema é capaz de distinguir aumenta (Figura 4.5), diminuindo a resolução.

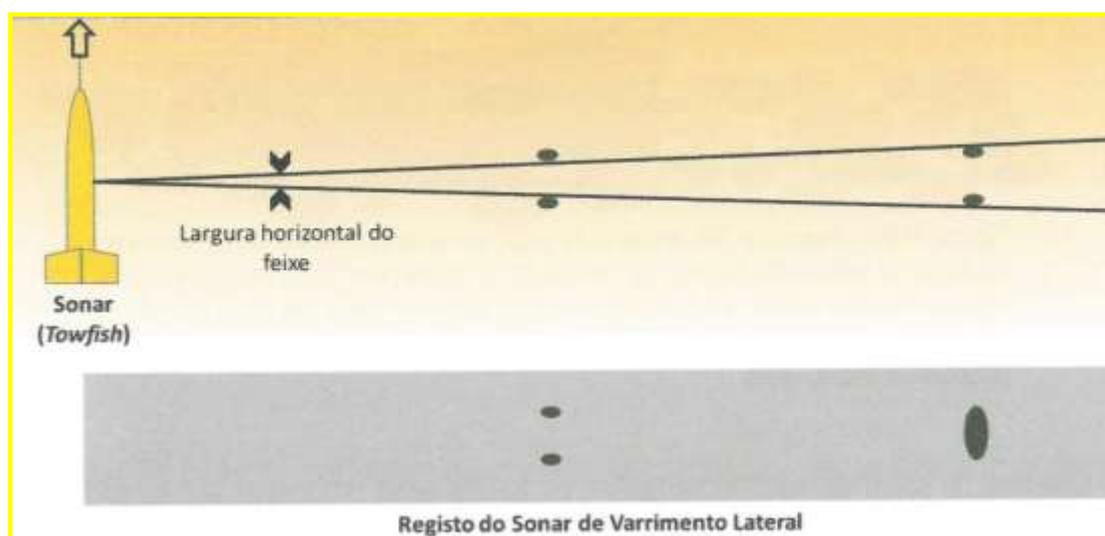


Figura 4.5. Resolução das imagens de sonar de varrimento lateral na direção do movimento do navio (*along-track*),  $\Delta x$ . Observa-se, nesta imagem, que dois objetos distintos podem ser registados na imagem como um único objeto, localizadas a distância da fonte acústica suficientemente grande, face à largura horizontal do feixe a essa distância (adaptado de Mazel, 1985, in Pinheiro et al., 2011).

A resolução na direção perpendicular ao trajeto do navio (*across-track*)  $\Delta y$ , (Equação 4.2), é uma função do comprimento do pulso,  $\tau$ , da velocidade de propagação do som na água,  $c$ , e do ângulo complementar ao ângulo de incidência,  $\beta'$  (Nishimura, 1997; Quinn et al., 2005; Blondel, 2009).

$$\Delta y = \frac{c\tau}{2} + \frac{1}{\cos\beta'} \quad (\text{Eq.4.2})$$

Onde  $\beta'$  é o ângulo de incidência, ou seja, o ângulo que a energia incidente faz com a perpendicular ao fundo (Figura 4.6).

Quanto maior for a distância *across-track* ao sonar, ou seja, quanto menor é o ângulo complementar ao ângulo  $\beta'$ , maior será a resolução espacial, uma vez que  $\Delta y$  será menor. Pelo contrário, quanto mais próxima do nadir, menor a resolução espacial (Figura 4.6).

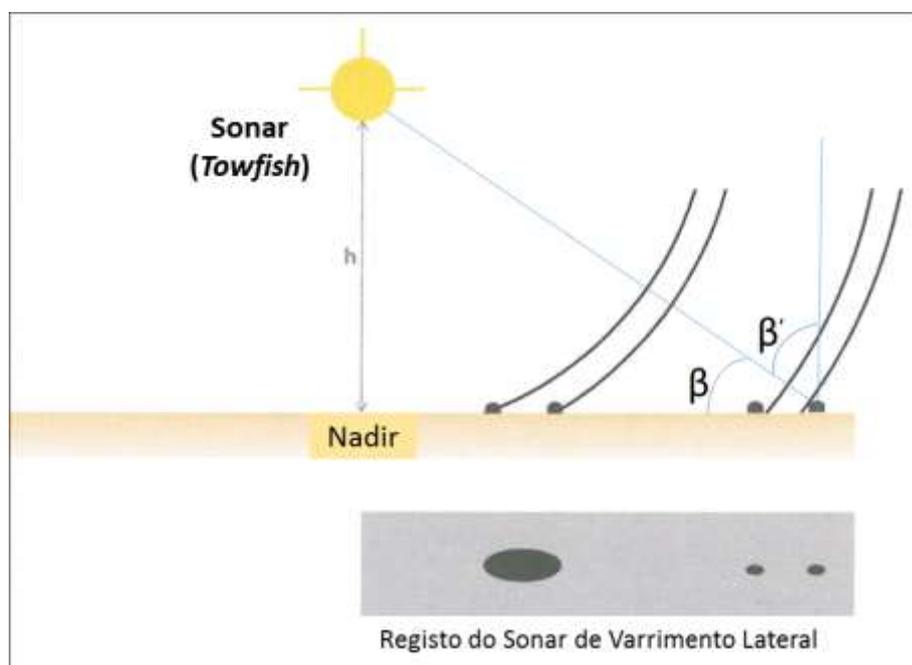


Figura 4.6. Resolução das imagens de sonar de varrimento lateral na direção perpendicular ao movimento do navio (*across-track*),  $\Delta y$ . Observa-se, nesta imagem, que dois objetos distintos podem ser gravados no registo do sonar como um único objeto, se próximos o suficiente da fonte acústica que permita que sejam englobados no mesmo feixe. O nadir corresponde à zona no fundo marinho na vertical do sonar (adaptado de Pinheiro et al., 2011).

Neto (2001), referencia dois grupos de sonar de varrimento lateral: rebocados próximo a superfície do mar (*shallow-tow*) e rebocados próximo ao fundo (*deep-tow*), tal como mostra a Figura 4.7 abaixo.

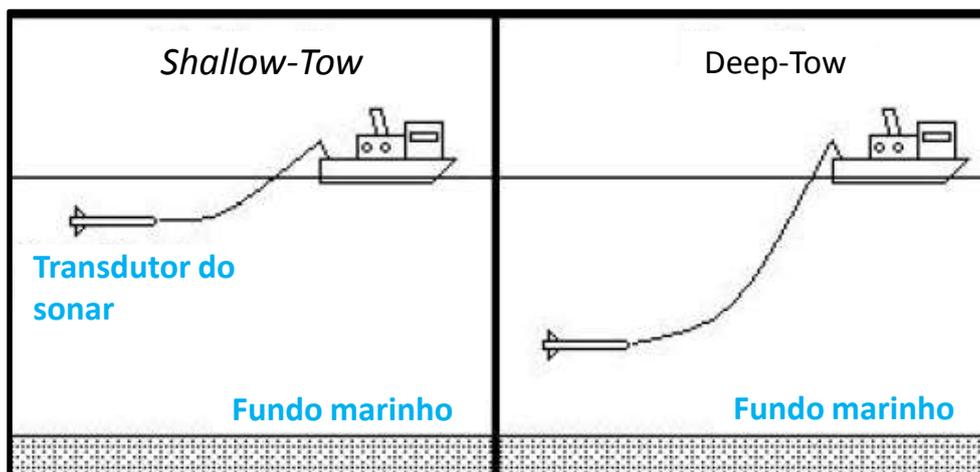


Figura 4.7. Tipos de sonar de varrimento lateral (adaptado de Neto, 2001).

Os equipamentos do tipo *shallow-tow* operam em um intervalo de frequência mais baixo (6 a 12 kHz) e servem para mapeamentos em grande escala, como para o reconhecimento de grandes feições do fundo submarino como zonas de fratura e vulcões submarinos. Os mais famosos sistemas *shallow-tow* são o GLORIA, operado pelo Centro Oceanográfico de Southampton e pelo Serviço Geológico Americano (USGS), e o sistema SeaMARC II, da Universidade do Havaí (Neto, 2001). Atualmente existem muitos outros sistemas equivalentes.

Como regra geral, o “peixe” do sonar de varrimento é rebocado em profundidade por uma embarcação a uma distância do fundo que corresponde a 10% do alcance lateral (Neto, 2001). Quando o som é transmitido viaja na coluna de água até alcançar um obstáculo (fundo ou alvo na coluna de água). Parte dessa energia acústica é então refletida (retrodispersão, *backscatter*) em direção ao transdutor. O mesmo transdutor que produziu o impulso acústico é agora usado para receber o sinal do retorno (Vize & Coggan, 2005; Pinheiro et al., 2011). O material do transdutor é mecanicamente excitado pela variação de pressão do impulso de retorno, transformado em sinal elétrico, amplificado e impresso diretamente em papel através de um registador ou digitalizado e visualizado /armazenado em computador (Badagola, 2008). Por exemplo, os ecobatímetros modernos, segundo Souza (2006), conhecidos como sistemas acústicos de classificação de fundo ou AGDC (*Acoustic Ground Discrimination Systems*), possuem módulos de controlos especiais com algoritmos (software) acoplados aos sistemas de receção dos sinais, que permitem automaticamente processar, em paralelo, o sinal acústico recebido, e assim, classificar

automaticamente o tipo de sedimento de fundo, de acordo com a energia e a forma de pulso refletido, a partir de um padrão pré-estabelecido para cada área.

A retrodispersão (*backscatter*) está relacionada com a interação entre a onda acústica e o fundo, e a sua intensidade é governada pelo coeficiente de retrodispersão,  $S_b$  (Equação 4.3), que corresponde à razão entre a intensidade do som disperso por unidade de área do fundo  $P_b$  e a intensidade da onda incidente  $I_i$ , numa determinada área insonificada,  $A$  (Jones, 1999, *apud* Pinheiro et al., 2011).

$$S_b = \frac{P_b}{I_i A} \quad (\text{Eq.4.3})$$

O coeficiente de retrodispersão está relacionado com as propriedades dos materiais de fundo, tais como a rugosidade, a velocidade de propagação do som e a sua densidade. A Rugosidade pode ser descrita, de modo simplista, pelo parâmetro de *Rayleigh*,  $r$  (Equação 4.4).

$$r = kH_{rms} \sin \beta \quad (\text{Eq.4.4})$$

Onde  $k$  é número de onda ( $2\pi/\text{comprimento de onda do sinal}$ ),  $H_{rms}$  é o valor médio quadrático da altura das formas de fundo e  $\beta$  corresponde o ângulo de incidência. Para valores de  $r$  muito inferiores a 1, a superfície é essencialmente lisa e toda a energia é refletida. Para valores muito superiores a 1, a superfície provoca a dispersão omnidirecional de energia – retrodispersão (Jones, 1999, *apud* Pinheiro et al., 2011).

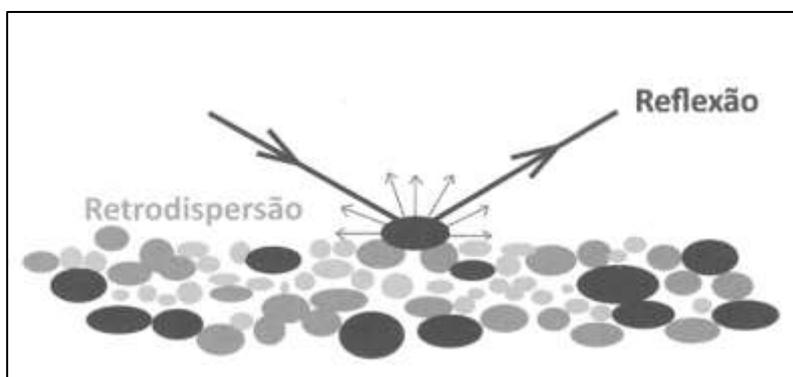


Figura 4.8. Reflexão (seta a preto) e retrodispersão ou *backscatter* (setas a cinza) nos sedimentos do fundo, do sinal acústico emitido pelo sonar (adaptado de Mazel, 1985, in Pinheiro et al., 2011).

A retrodispersão (*backscatter*) é geralmente medida em decibéis, e é função, por ordem decrescente de importância, da geometria do sistema sensor-objeto (ângulo de incidência, ângulo de retorno da onda acústica e inclinação do fundo), das características físicas do fundo, tais como a rugosidade, densidade ou velocidade de propagação do som, e da natureza do fundo, em particular da sua composição e estrutura (Nishimura, 1997; Vize & Coggan, 2005; Huff, 2008; Blondel, 2009). Se o fundo do mar fosse uma superfície plana, a quantidade de energia refletida obedeceria unicamente a lei de Snell (ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão), sendo muito baixa para ângulo de incidência baixas (Neto, 2001). É facto que o fundo do mar é irregular, quanto mais não seja à microescala, e essa microfisiografia é que permite que a energia incidente em determinados pontos seja preferencialmente redirecionada de volta ao transdutor (Nishimura, 1997; Neto, 2001; Vize & Coggan, 2005; Huff, 2008). Superfícies homogéneas provocam baixa retrodispersão do sinal acústico, enquanto que, superfície heterogéneas e rugosas propiciam um retorno do sinal de retrodispersão com maior energia (Souza, 2006). Na ausência de variações topográficas significativas, é geralmente assumido, que no caso de se tratarem de sedimentos inconsolidados, o tamanho do grão é o fator dominante na intensidade da retrodispersão, ou seja, quanto mais grosseira for a textura dos sedimentos maior será a quantidade de energia refletida. Por exemplo, os cascalhos estão associados a uma retrodispersão mais levada que os lodos (Davis et al., 1996; Neto, 2001; Collier & Brown, 2005; Golf et al., 2000 apud Pinheiro et al., 2011), pois estes últimos, para além de apresentarem uma superfície mais regular, tendem a absorver mais energia (efeito de amortecimento).

Uma imagem de sonar de varrimento lateral representa a amplitude da retrodispersão de energia acústica do fundo marinho em vários tons (Fournier, Baltzer, Godet, & Panizza, 2010). Normalmente retrodispersão fortes por parte de rochas, sedimento mais grosseiro ou estruturas que se encontram viradas para o transdutor do sonar, são representadas por cores claras (frequentemente cinzento claro ou branco). Por outro lado, as retrodispersões mais fracas por parte de sedimentos finos ou sombras apresentam-se em cores escuras (frequentemente como cinzento-escuro ou preto) (Johnson & Helferty, 1990; Mazel, 1985, apud Pinheiro et al., 2011). A imagem obtida é muito parecida com uma fotografia do fundo (ver Figura 4.14) que pode ser melhorada, modificada e interpretada (Johnson & Helferty, 1990; Neto, 2001).

Portanto, as imagens de sonar de varrimento lateral, que representam a intensidade de retrodispersão do fundo, fornecem indicações importantes sobre as características morfológicas e sedimentológicas dos sedimentos de fundo, em particular, quanto ao relevo e à variação da distribuição superficial dos sedimentos (tipo, composição, textura e orientação de estruturas) (Pinheiro et al., 2011). Permitem ainda identificar eventuais objetos e visualizar formas de fundo associadas com as correntes predominantes na área de estudo (Neto, 2001; Blondel, 2009, apud Pinheiro et al., 2011).

Outro exemplo de aplicação de Sistemas de Sonar de Varrimento é a cartografia e a monitorização de habitats bentónicos. Relacionado a isso está a operacionalidade destes sistemas em grande escala de frequências que são mais de 10kHz e vão até algumas centenas de kHz. Em habitats bentónicos utilizam-se geralmente frequências >50kHz (Henriques et al., 2012). As altas frequências apresentam um pulso mais curto e por isso maior resolução, contudo, têm um alcance mais pequeno e são muito sensíveis ao ruído (Neto, 2001; Henriques et al., 2012).

No entanto, para interpretar imagens de sonar de varrimento lateral é fundamental a experiência e o conhecimento de área em estudo, de modo a melhor interpretar as estruturas do fundo e identificar eventuais artefactos (Riddy & Masson, 1996). As zonas de sombra constituem uma ajuda na interpretação das imagens e correspondem a áreas onde não existe qualquer retorno de energia (Figura 4.9). Estas áreas sem retorno de energia são provocadas, por exemplo, pela existência de blocos ou elevações. Pequenas elevações ou destroços que impedem a insonificação da área adjacente a estas estruturas. Estas sombras permitem estimar a altura das estruturas, usando o Teorema de Tales. A presença de depressões no fundo origina também zonas de sombra (Figura 4.9).

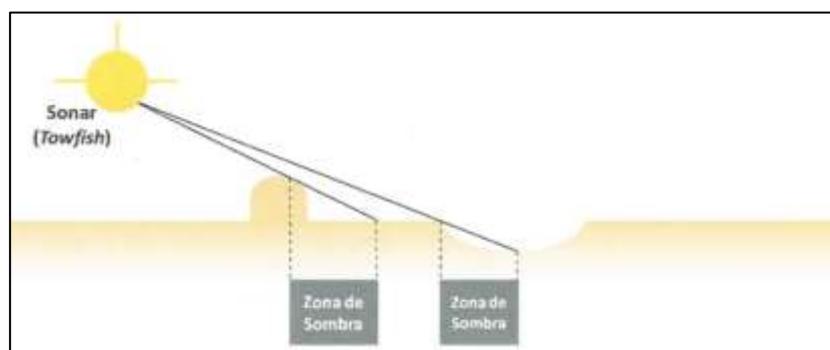


Figura 4.9. Diagrama que ilustra a formação das zonas de sombras (Luis Menezes. Pinheiro et al., 2011).

Conforme se pode ver na Figura 4.10, o triângulo gerado pela altura do objeto ( $h_o$ ), o comprimento oblíquo da sombra acústica do objeto ( $l_{os}$ ) e a distância horizontal ( $d_{ii}$ ) (desde o centro da base (fundo) do objeto ao ponto mais distante da sombra acústica) é semelhante ao triângulo que é obtido se for usada a distância vertical do peixe ao fundo ( $h$ ), a distância oblíqua até ao ponto mais distante da sombra acústica do objeto ( $d_o + l_{os}$ ) e a distância horizontal desde o fundo da vertical do peixe ( $a$ ) à sombra acústica, ou seja, a distância no terreno ( $d_i$ ). Uma vez que para dois triângulos semelhantes, a razão entre dois lados correspondentes é igual, pode-se afirmar que a razão entre a distância do objeto e a altura do sonar relativamente ao fundo é igual à razão entre a distância oblíqua do sonar ao ponto mais distante da sombra acústica do objeto e o comprimento oblíquo da sombra acústica do objeto. Deste modo, pode-se determinar  $h_o$ , a partir da Equação 4.5, usando o mesmo raciocínio.

$$h_o = \left[ \frac{l_{os}h}{l_{os} + d_o} \right] (m) \quad (\text{Eq.4. 5})$$

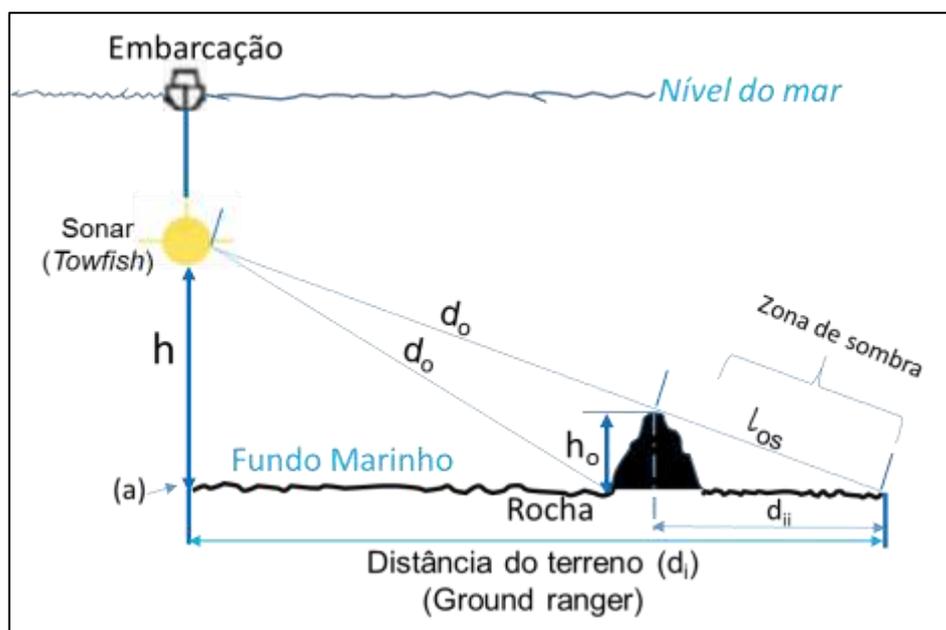


Figura 4.10. Esquema de Sonar de Varrimento lateral ilustrando a determinação de a altura do objeto (rocha) a partir de Teorema de Tales (adaptado de Mazel, 1985).

Conforme se pode conferir na Figura 4.11, e como já se referiu anteriormente, normalmente para aquisição em água profunda o sonar é rebocado atrás do navio. A posição deste durante a aquisição é dada por GPS ou GPSD que dão as coordenadas do navio e sabendo o comprimento do cabo ( $L$ ) os *offsets* e a profundidade a que o sonar se encontra ( $h$ ). Tendo estes dados pode-se determinar a distância a que este se encontra do navio ( $d$ ) para assim calcular com bastante precisão a posição horizontal dos dados adquiridos em relação à antena GPS (Vize & Coggan, 2005; Henriques et al., 2012). A distância a que o sonar se encontra do barco pode ser obtida recorrendo ao teorema de Pitágoras.



Figura 4.11. Representação do funcionamento de Sonar de Varrimento Lateral estando este a reboque do navio (adaptado de Henriques et al., 2012).

O sinal de retorno (retrodispersão) resultante do pulso acústico transmitido à água não será o único “sinal” a chegar aos transdutores. Existe uma gama quantidade de ruído de diversas formas que pode aparecer nos registos, chegando até em casos extremos, perturbar o sinal (a informação de interesse) e invalidar a interpretação dos mesmos. As origens de ruídos podem ser divididas em duas categorias: as de origem ambiental (sempre existirão, independente da aquisição) e as de origem antrópicas.

Os ruídos de origem ambiental, embora que possam causar algum tipo de interferência no registo, normalmente não inviabilizam a interpretação dado que estes ruídos são de baixa a muito baixa frequência (chuva, ondulações, etc.). Os ruídos de origem antrópica são os que mais perturbam o sinal. Estes ruídos podem ser causados por instabilidade do Sonar uma vez que este vai a reboque do navio, (yaw, roll, heave e pitch), variação na velocidade do navio e variação da distância a que este se encontra do fundo marinho (distorção do *slant-range*). Tanto a variação da velocidade como a distorção do *slant-range* podem ser corrigidos durante o processamento (Henriques et al., 2012). Por

outro lado, a qualidade de dados a processar é otimizada com uma rigorosa planificação da campanha sísmica, de forma a que os dados tenham uma boa cobertura (Figura 4.12). Como foi referido anteriormente, a imagem do Sonar de Varrimento Lateral é criada juntando todos os dados numa imagem georreferenciada, que representa as propriedades acústicas do fundo marinho. De modo a obter um mosaico de boa qualidade as linhas realizadas devem ter um espaçamento definido de modo a existir pelo menos 30 a 50% de sobreposição entre as linhas (Henriques et al., 2012).

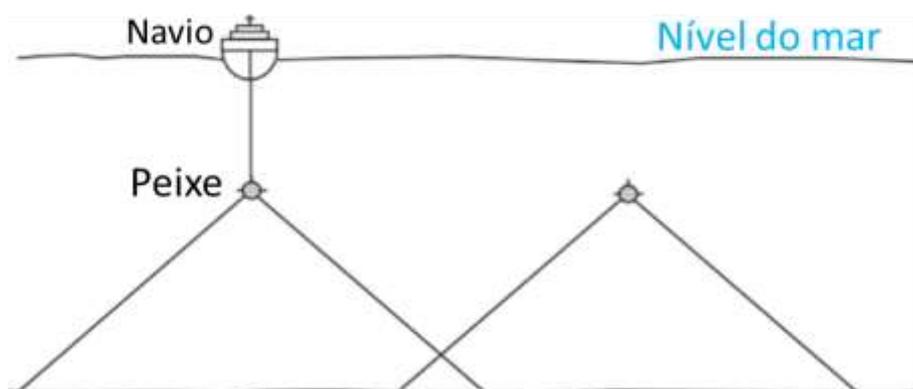


Figura 4.12. Representação esquemática de cobertura total com sobreposição de varrimento (adaptado de Henriques et al., 2012).

Portanto, como já foi referido anteriormente, antes de se proceder à interpretação das imagens de sonar de varrimento lateral, é necessário proceder o seu processamento prévio, para corrigir as distorções geométricas e radiométricas que as afectam.

Segundo Pinheiro et al. (2011), as distorções geométricas correspondem a diferenças entre a localização relativa de determinada estrutura na imagem de varrimento e a sua posição real no fundo. Estas distorções podem ser causadas por diferentes fatores. Uma destas distorções está relacionada com obliquidade das distâncias (Figura 4.9, Figura 4.10 e Figura 4.11). As distâncias a estruturas, na perpendicular ao trajeto da embarcação (*across-track*), são medidas com base no tempo de ida e volta do pulso, o que corresponde a distância oblíqua (*slant range*) e não à distância real horizontal no terreno (*ground range*). Por exemplo, se considerarmos duas estruturas que se encontram perto do nadir ( $D_1$  e  $D_2$ ), elas terão distâncias oblíquas (*slant range*) muito semelhantes ( $R_1$  e  $R_2$ ). No entanto, se as mesmas estruturas estiverem mais afastadas do nadir ( $D_3$  e  $D_4$ ), terão distâncias oblíquas associadas relativamente diferentes ( $R_3$  e  $R_4$ ), o que se

traduz numa distância relativa aparente incorreta entre as duas estruturas na imagem de varrimento (Cobra, 1992; Blondel, 2009, apud Pinheiro et al., 2011). A Figura 4.11 mostra a distorção provocada pelo efeito das distâncias oblíquas.

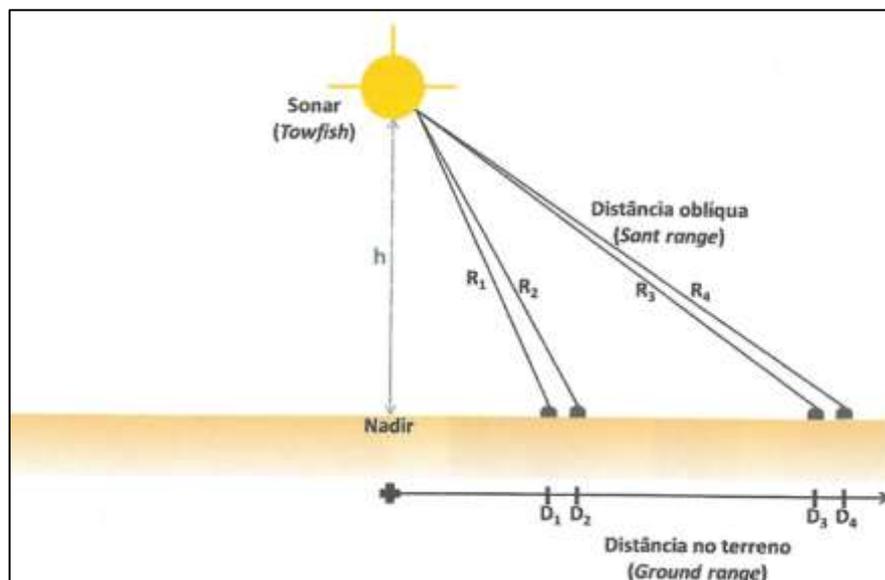


Figura 4.13. Distorção provocada pelo efeito das distâncias oblíquas (*slant range*), ilustrada através da distância entre duas estruturas quando localizadas perto e afastadas do nadir (adaptado de (Blondel, 2009, in Pinheiro et al., 2011).

A correção desta distorção consiste no reposicionamento dos pixéis da imagem do sonar de varrimento lateral, da sua posição aparente para a sua posição real (Equação 4.6), considerando a distância real do terreno ( $D_i$ ). Esta distância  $D_i$  é determinada com base no tempo de ida e volta do pulso ( $T_i$ ), na velocidade de propagação do som na água ( $c$ ) e na altura do sonar ( $h$ ).

$$D_i = \sqrt{\left(\frac{cT_i}{2}\right)^2 - h^2} \quad (m) \quad (\text{Eq.4.6})$$

Um outro aspecto a considerar é o facto do intervalo de amostragem na direção paralela à navegação (*along-track*) origina, geralmente, pixéis com uma resolução espacial diferente da direção perpendicular à navegação (*across-track*). Este fenómeno provoca, assim, distorções nas imagens de sonar de varrimento lateral (Pinheiro et al., 2011). O espaçamento ao longo da direção de navegação, e portanto a sua resolução *along-track*, é ditado pelo ângulo horizontal do feixe que insonifica o fundo (ver Figura 4.4-B e Figura 4.5) e pela distância percorrida pelo transdutor entre receções. A correção

desta distorção geométrica, denominada anamorfose, é importante e passa pela produção de uma imagem em que o tamanho do *pixel* é o mesmo nas duas direções, paralela e perpendicular à navegação, garantindo assim, que as estruturas são representadas na imagem de Sonar de Varrimento Lateral com a proporção correcta (Chavez et al., 2002, Blondel, 2009, apud Pinheiro et al., 2011).

Para além dos aspetos mencionados anteriormente, os sistemas de Sonar de Varrimento Lateral começam a gravar dados assim que a onda acústica é emitida na coluna de água, o que gera um número de pixéis em ambos os lados do nadir que corresponde à distância entre os transdutores e o fundo (Figura 4.14). A remoção desta porção de imagem, após a integração da imagem de varrimento com dos dados da navegação, constitui um dos primeiros passos no fluxograma do processamento de dados de sonar de varrimento lateral (Chavez et al., 2002 apud Pinheiro et al., 2011).

Outra fonte de distorções geométricas está relacionada com as variações da velocidade do som na água, causadas por diferenças de temperatura, pressão e salinidade, que levam à refração da onda. Estas distorções não são, no entanto, muito significativas em sonares de alta frequência (Cobra, 1992 apud Pinheiro et al., 2011).

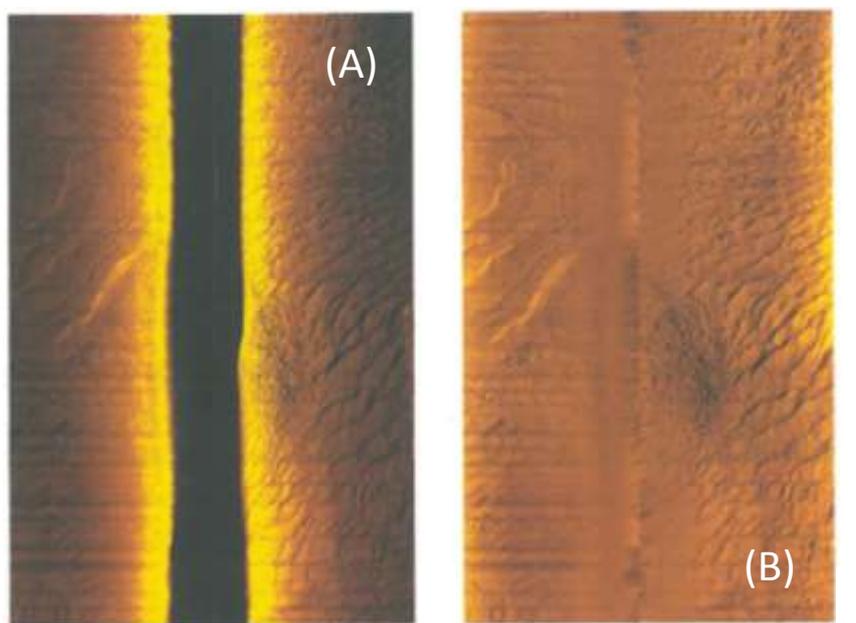


Figura 4.14. Linha de sonar de varrimento lateral adquirida num dos canais da Ria de Aveiro. (A): imagem sem processamento; (B): após a remoção da porção correspondente à coluna de água abaixo do sonar e aplicação da correção radiométrica (*beam angle correction*) para compensar os efeitos da iluminação desigual devido à forma e ângulo de incidência do feixe (Pinheiro *et al.*, 2011).

Enquanto as correções das distorções geométricas envolvem mudanças na posição espacial de cada pixel, as correções das distorções radiométricas implicam a alteração do valor de amplitude do sinal de retorno (retrodispersão) atribuído a um determinado pixel (Chavez et al., 2002 apud Pinheiro et al., 2011).

As distorções radiométricas correspondem a desvios em relação ao comportamento linear ideal entre a intensidade da imagem obtida e a retrodispersão dos materiais de fundo. Uma vez que os dados de sonar de varrimento lateral correspondem à energia relativa à retrodispersão do fundo, então, a intensidade do sinal incidente e o ângulo de incidência relativamente ao fundo afectam a retrodispersão e, conseqüentemente os dados (Pinheiro et al., 2011). Assim, as imagens de sonar de varrimento lateral apresentam maiores amplitudes perto do nadir e uma resposta mais fraca nos extremos (Figura 4.14), o que se deve à forma do feixe do sonar. De modo a compensar a iluminação desigual é importante conhecer a distribuição em função do ângulo de incidência, que pode ser determinada para um dado sistema estimando estatisticamente, para uma série de dados, o valor médio para cada ângulo. O resultado é um histograma que relaciona a retrodispersão com o ângulo da energia incidente. O inverso da energia média para cada ângulo de incidência pode, então, ser aplicado como fator de correção para esta distorção (Figura 4.14B (Chang et al., 2010 apud Pinheiro et al., 2011)).

Outras distorções radiométricas que podem afectar os dados de sonar de varrimento lateral são os ruídos *speckle*, que correspondem a ecos pontuais de muito elevada intensidade. Estes artefactos, que não são representativos no fundo do mar, podem ser removidos por filtragem. Existem ainda outros tipos de ruídos, denominados *striping*, que corresponde a retornos de muito baixa amplitude ao longo de faixas perpendiculares à direcção do trajeto da embarcação e que são devido quer a movimentos verticais do “peixe” (*pitch*, já referenciado anteriormente), quer a inconsistências do sistema. A sua remoção é também possível com a aplicação de filtros. Existem vários programas de processamento de dados de sonar de varrimento lateral que permitem aplicar todas as correções, quer geométricas quer radiométricas, anteriormente descritas.

Na seleção do sistema de sonar de varrimento lateral a usar devem ter-se em consideração fatores como a cobertura desejada, a profundidade da área do levantamento e a resolução pretendida. Baixas frequências são caracterizadas por longos comprimentos de onda e pulsos acústicos também longos, o que permite um elevado alcance, embora

limite a resolução. Pelo contrário, altas frequências permitem uma maior resolução, limitando o alcance. A Tabela 4.2 mostra alguns exemplos de sistemas de sonar de varrimento lateral com diferentes resoluções (Pinheiro et al., 2011).

Tabela 4.2. Seleção do tipo de sistema de sonar de varrimento lateral em função da resolução e alcance pretendido (Pinheiro et al., 2011, in Coelho et al., 2011).

Resolução	Frequência	Comprimento de onda	Alcance
Baixa	1kHz	1,5m	>100Km
Baixa	10KHz	15m	10Km
Baixa	25KHz	6cm	3Km
Média	50KHz	3cm	1Km
Média	100KHz	1,5mm	600m
Alta	500KHz	3mm	150m
Alta	1MHz	1,5cm	50m

#### 4.2.2. Análise granulométrica

Terminada a campanha de amostragem FF2015, e já no laboratório na Universidade de Aveiro, as 36 amostras (N= 36) amostras recolhidas foram secas numa estufa a 50°C num período de 48 a 72 horas. Estas foram quarteadas manualmente, com o objetivo de obter uma sub-amostra representativa do conjunto e pesadas de modo a obter-se o peso total de 150 a 250 gramas de cada amostra (Figura 4.15). Estes pesos variaram mediante a quantidade de sedimento obtido para cada amostra durante a campanha, e em função da sua granulometria (idealmente foram reservados 150g de sedimento em amostras finas e 250 gramas no caso de amostras arenosas).

A granulometria do sedimento foi analisada no laboratório de sedimentologia do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Foi registado o peso seco inicial de cada amostra. A granulometria das amostras arenosas foi determinada por crivagem por via seca. Nas amostras areno-lodosas, os finos foram separados por via húmida utilizando a água desmineralizada e usando uma peneira (ASTM, American Standards for Testing and Materials) com uma malha de abertura de 63  $\mu\text{m}$  (4  $\phi$ ). Para facilitar a desagregação de possíveis agregados, cada amostra foi submetida a ultrassons

durante 30 segundos e a um desagregador mecânico durante 10 minutos. Após secas e pesadas, as frações finas (<63  $\mu\text{m}$ ) e grosseiras (>63  $\mu\text{m}$ ), estas foram ensacadas em sacos plásticos, lacradas e guardadas para serem usadas em análises posteriores. A Figura 4.16 esquematiza a peneiração via húmida.

A separação das várias frações granulométricas grosseiras (>63  $\mu\text{m}$ ) foi efetuada por via seca com o recurso a uma série de peneiros e utilizando um agitador de peneiros (mecânico), durante um período de 15 minutos. Foi usada a seguinte série de peneiros (ASTM) com uma malha de abertura decrescente de  $\frac{1}{2}$  em  $\frac{1}{2}$   $\emptyset$ , isto é, peneiros com malhas de 4 mm (-2  $\emptyset$ ), 2 mm (-1  $\emptyset$ ), 1 mm (0  $\emptyset$ ), 500  $\mu\text{m}$  (-1  $\emptyset$ ), 250  $\mu\text{m}$  (2  $\emptyset$ ), 125  $\mu\text{m}$  (3  $\emptyset$ ) e 63  $\mu\text{m}$  (4  $\emptyset$ ) (Dias, 2004a; Fernando, 2007). Após a crivagem das amostras, as respetivas frações sedimentares foram pesadas, ensacadas, lacradas e guardadas (Figura 4.17).

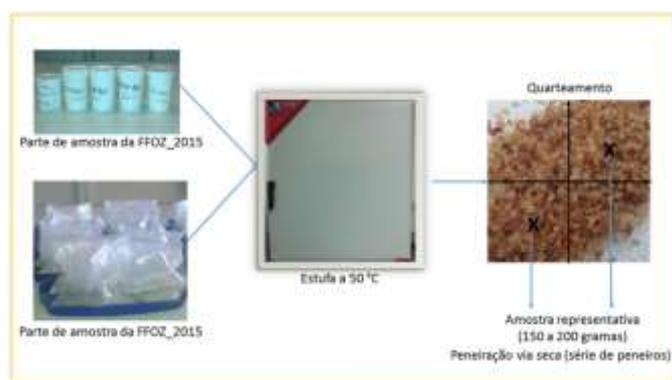


Figura 4.15. Visualização de diferentes fases de análise granulométrica



Figura 4.16. Peneiração via húmida.

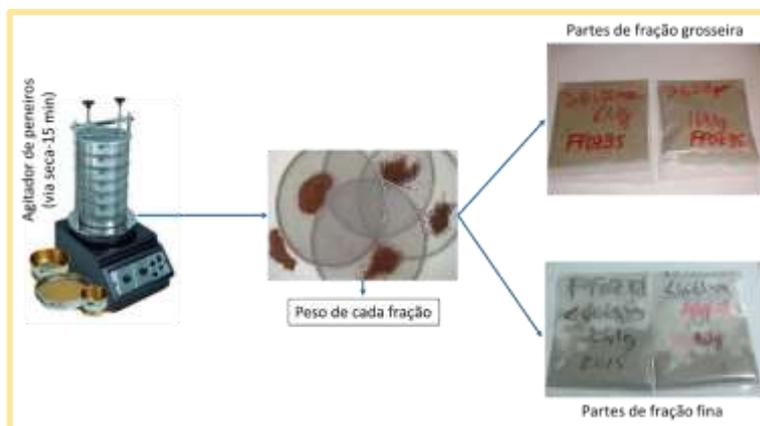


Figura 4.17. Peneiração por via seca e mostras de frações grosseiras e finas.

O peso de cada fração granulométrica das amostras estudadas foram introduzidos e analisados no programa GRADISTAT, que consiste numa macro em Microsoft® Excel® (Tabela 4.3). Trata-se de um programa de análise estatística do tamanho de grão de qualquer uma das técnicas de medição convencionais através do qual foram obtidos alguns parâmetros texturais (diâmetro médio, calibração/seleção, assimetria, curtose, moda,  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  E  $D_{90}$ ) de Folk & Ward (1957) pelo método logaritmo em escala phi ( $\phi$ ) (Blott & Pye, 2001) e em mm (ou  $\mu\text{m}$ ).

A escala  $\phi$  é vulgarmente utilizada para facilitar a aplicação dos métodos estatísticos convencionais à sedimentologia. Uma escala definida como sendo os valores negativos do logaritmo da dimensão da partícula em milímetros (d), dividido pelo diâmetro elementar, que corresponde a 1mm (Eq.4.7). Este último torna a escala adimensional e não altera os valores (Dias, 2004a).

$$\phi = - \frac{\log_2 d(mm)}{1 \text{ mm}} \quad (\text{Eq.4.7})$$

Para a conversão da escala  $\phi$  em mm basta fazer o inverso da Equação 4.7. A Equação 4.8 mostra a respetiva conversão.

$$D(mm) = 2^{-\phi} \quad (\text{Eq.4.8})$$

Segundo (Dias, 2004a), esta notação tem o inconveniente de obrigar, por vezes, a trabalhar simultaneamente com valores negativos e positivos, visto que as partículas maiores que 2 mm têm valor de  $\phi$  negativo e as partículas de dimensão inferior têm esse

valor positivo. Para análise de sedimentos arenosos ou mais finos, a utilização desta escala é bastante prática. Com este tipo de representação, as distribuições granulométricas tendem a aproximar-se a distribuição gaussiana, vulgarmente designados de distribuições log-normais.

Neste trabalho optou-se por usar a escala de mm (ou  $\mu\text{m}$ ), mais intuitiva e mais sensível em análises estatísticas em que se compara a distribuição de vários tipos de dados ou vários locais em função das características sedimentológicas evidenciadas.

Tabela 4.3. Visualização de um dos exemplos de resultados obtidos através do Programa Gradistat V.8

		<b>SAMPLE STATISTICS</b>				
SIEVING ERROR: 0,6%				ANALYST & DATE: Assane Pena, 04/03/2016		
SAMPLE IDENTITY: <b>FFOZ_10</b>		SAMPLE TYPE: Unimodal, Moderately Sorted		TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand		
SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand						
				<b>GRAIN SIZE DISTRIBUTION</b>		
MODE 1:	$\mu\text{m}$	$\phi$	GRAVEL: 4,4%	COARSE SAND: 2,3%		
MODE 2:	187,5	2,500	SAND: 95,6%	MEDIUM SAND: 18,7%		
MODE 3:			MUD: 0,1%	FINE SAND: 69,3%		
D <sub>10</sub> :	134,2	1,045	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V FINE SAND: 2,8%		
MEDIAN or D <sub>50</sub> :	200,3	2,320	COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,0%		
D <sub>90</sub> :	484,6	2,898	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 0,0%		
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ):	3,611	2,773	FINE GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 0,0%		
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ):	350,4	1,853	V FINE GRAVEL: 4,4%	FINE SILT: 0,0%		
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ):	1,781	1,450	V COARSE SAND: 2,5%	V FINE SILT: 0,0%		
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ):	121,8	0,833		CLAY: 0,0%		
		<b>METHOD OF MOMENTS</b>		<b>FOLK &amp; WARD METHOD</b>		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\phi$	$\mu\text{m}$	$\phi$	
MEAN ( $\bar{x}$ ):	334,6	209,8	2,076	222,9	2,166	Fine Sand
SORTING ( $\sigma$ ):	489,9	2,591	0,942	1,897	0,923	Moderately Sorted
SKEWNESS ( $S_k$ ):	4,475	-2,393	-2,008	0,485	-0,485	Very Coarse Skewed
KURTOSIS ( $K$ ):	23,42	19,70	8,007	1,827	1,827	Very Leptokurtic

A classificação proposta por Folk & Ward (1957) baseia-se essencialmente num diagrama triangular (Figura 4.18 e Figura 4.19 ilustram as versões em português), em que são representados proporcionalmente os conteúdos percentuais em cascalho (>2mm), em areia (2mm a 63 $\mu\text{m}$ ) e em lodo (<63 $\mu\text{m}$ ). Os parâmetros texturais obtidos foram automaticamente relacionados pelo programa em termos descritivos. Na tabela 4.4 encontram-se representados os referidos termos e as respetivas fórmulas utilizadas para o cálculo (Blott & Pye, 2001).

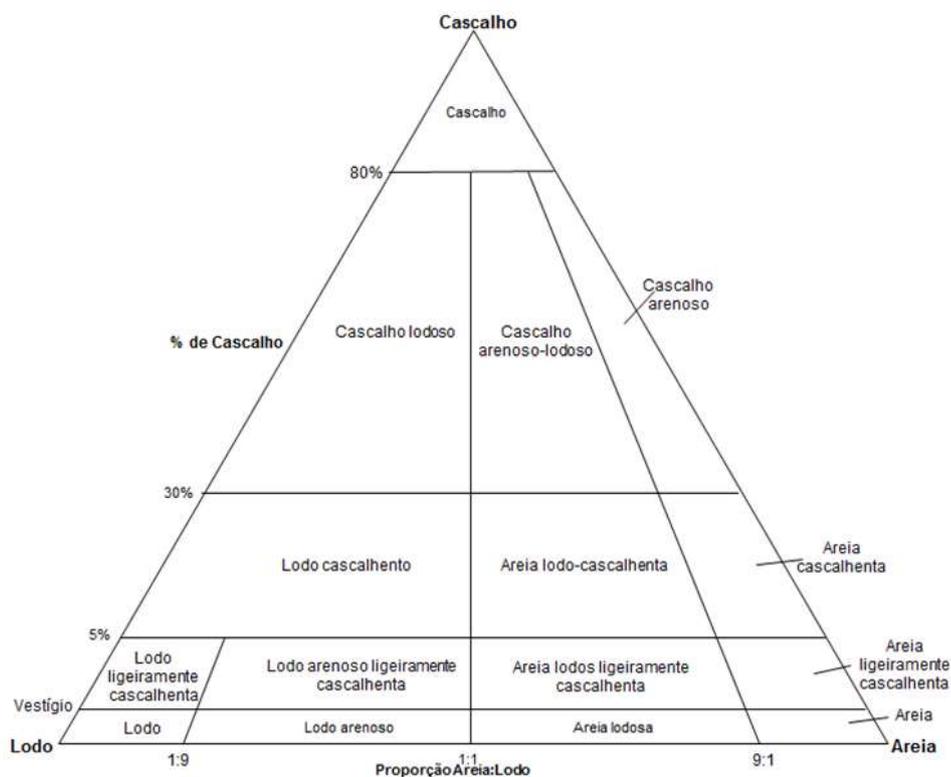


Figura 4.18. Diagrama triangular de classificação de cascalho (Folk e Ward, 1957, in Blott e Pye, 2001).

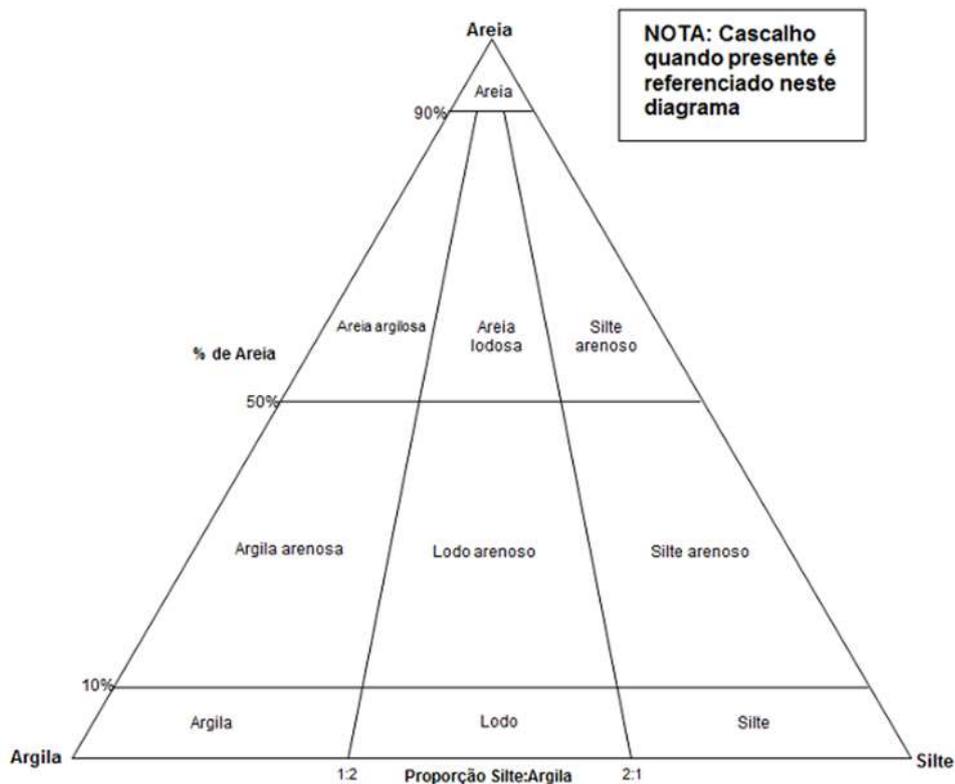


Figura 4.19. Diagrama triangular de classificação de areia (Folk e Ward, 1957, in Blott e Pye, 2001).

Tabela 4.4. Fórmulas para cálculos de parâmetros texturais e suas terminologias (Blott &amp; Pye, 2001)

<b>Diâmetro médio</b>			
$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$			
<b>Cascalho</b>	Fino	4 a 8 mm	(-2) a (-3) phi
	Muito fino	2 a 4 mm	(-1) a (-2) phi
	Muito grosseira	1 a 2 mm	0 a (-1) phi
<b>Areia</b>	Grosseira	500 µm a 1 mm	1 a 0 phi
	Média	250 µm a 500 µm	2 a 1 phi
	Fina	125 µm a 250 µm	3 a 2 phi
	Muito fina	63 µm a 125 µm	4 a 3 phi
<b>Lodo (finos)</b>	Silte grosseiro	3,1 µm a 63 µm	5 a 4 phi
* Apenas são apresentadas as classes identificadas no presente trabalho			
<b>Calibragem</b>			
$\sigma_I = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$			
	Muito bem calibrado	< 0,35	
	Bem calibrado	0,35 - 0,50	
	Moderadamente bem calibrado	0,50 - 0,70	
	Moderadamente calibrado	0,70 - 1,00	
	Mal calibrado	1,00 - 2,00	
	Muito mal calibrado	2,00 - 4,00	
	Extremamente mal calibrado	> 4,00	
<b>Assimetria</b>			
$SK_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$			
	Muito finamente assimétrica	(+1,0) a (+0,3)	
	Finamente assimétrica	(+0,3) a (+0,1)	
	Simétrica	(+0,1) a (-0,1)	
	Grosseiramente assimétrica	(-0,1) a (-0,3)	
	Muito grosseiramente assimétrica	(-0,3) a (-1,0)	
<b>Curtose</b>			
$K_G = \frac{\phi_{95} + \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$			
	Muito platicúrtica	< 0,67	
	Platicúrtica	0,67 - 0,90	
	Mesocúrtica	0,90 - 1,11	
	Leptocúrtica	1,11 - 1,50	
	Muito leptocúrtica	1,50 - 3,00	
	Extremamente leptocúrtica	> 3,00	

O diâmetro médio ( $\emptyset$ ) ou média gráfica introduzida por Folk & Ward (1957) traduz a granularidade média do sedimento. É uma medida de tendência central mais eficiente em relação a outras formas de cálculo deste parâmetro (Carvalho, 2005). As medidas de tendências centrais em sedimentologia permitem saber, se em média, as partículas que constituem uma distribuição, são mais ou menos grosseiras do que as de outra distribuição. Estão relacionadas com a intensidade do agente de transporte e/ou com níveis energéticos do ambiente de deposição (Dias, 2004a).

Em sedimentologia também é comum a utilização dos parâmetros estatísticos  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{90}$ . Os parâmetros  $D_{10}$  e  $D_{90}$  representam os diâmetros de corte da curva de distribuição acumulada das partículas em 10% e 90%, respetivamente. Tratam-se de diâmetros correspondentes a 10% e 90% de peso total de todas as partículas menores que eles numa determinada amostra (Sisternans, 2002; Roberto et al., 2014). O parâmetro  $D_{50}$  representa a mediana da distribuição e corresponde ao tamanho médio dos grãos (Roberto et al., 2014), ou seja, é o tamanho das partículas de uma dada amostra de tal modo que a massa de partículas de menor diâmetro é igual à massa de partículas de diâmetro maior. É o diâmetro pelo qual passam 50% das partículas de sedimentos ou solo. Segundo Pomerol et al. (2013), o valor da mediana depende do agente de transporte, mas tem, sobretudo, um valor regional ou local.

De mesmo modo pode-se referir a mediana ao 50º percentil ( $P_{50}$ ). Os percentis são valores da abcissa que correspondem às ordenadas, ou seja, são medidas que dividem a amostra por ordem crescente de dados em 100 partes, cada uma com percentagem de dados aproximadamente iguais. Representam a percentagem de valores que estão antes ou depois de um determinado peso de amostra de sedimentos. Por exemplo, 10º percentil ( $P_{10}$ ) determina os 10% menores de dados ou 90% maiores dos dados (Carvalho, 2005).

A Seleção dos sedimentos ou desvio padrão designado por Folk e Ward de *inclusive graphic standard deviation* (desvio padrão gráfico inclusivo), constitui um índice de calibração, põe em evidência a maior ou menor dispersão da curva granulométrica (Carvalho, 2005). É a medida de dispersão ou uniformidade da amostra, que expressa a maior ou menor concentração de partículas em torno da média. Frequentemente, traduz a constância ou a irregularidade dos níveis energéticos (Dias, 2004a). Sedimentos bem selecionados (classificados) são constituídos por grãos com pequena dispersão dos seus valores granulométricos ou dos valores das medidas de tendências centrais. Com o aumento do transporte ou agitação do meio as partículas de

---

diferentes tamanhos tendem a ser separadas por tamanho (Nichols, 2009). Em regra, as areias finas a muito finas, muito bem calibradas são encontradas em cordões litorais, dunas e lagunas. As moderadamente calibradas estão frequentemente associadas a ambientes fluviais, ao passo que as mal calibradas são comuns em regimes torrenciais e flúvio-glaciares. Quando grosseiras, as areias de praia são menos bem calibradas do que as finas, confundindo-se com as fluviais (in Carvalho, 2005).

Outro parâmetro estatístico de destaque em sedimentologia é a moda. Esta é definida como o diâmetro ou classe mais frequente de uma distribuição granulométrica. No caso em se destaca uma classe chama-se unimodal e no caso em que se destacam duas, três ou mais classes designam, respetivamente, por bimodais, trimodais e multimodais. Pode ser, e é geralmente, diferente da média e da mediana, sendo com frequência mais significativas que estas quando se pretende efetuar análise de dinâmica sedimentar (Dias, 2004a; Carvalho, 2005). Embora dependente do intervalo da análise, e consequentemente do tipo de método a empregar, a análise modal visa separar e interpretar as várias modas responsáveis pelo traçado de determinadas curvas granulométricas, e tem sido utilizada, como por exemplo, no estudo da plataforma continental portuguesa para identificação de várias famílias de subpopulação de sedimentos (Dias, 2004a; Carvalho, 2005).

A assimetria também designada de *inclusive graphic skewness* (assimetria gráfica inclusiva) por Folk & Ward (1957), põe em evidência o afastamento da curva granulométrica em relação à distribuição normal para a direita ou a esquerda, indicando se há predomínio da fração mais fina relativamente ao valor da média (assimetria positiva na escala *phi*) (Carvalho, 2005). Nesse caso, o valor da média é superior ao valor da mediana que por sua vez é superior ao valor da moda, e a cauda da curva de distribuição é mais acentuada para direita (Dias, 2004a). Todavia, se há equivalência entre a fração fina e a grosseira, ou seja, quando os valores da moda, da média e da mediana forem iguais, a curva é simétrica (Carvalho, 2005). Por outro lado, se há predomínio da fração grosseira (assimetria negativa na escala *phi*), o valor da média é inferior ao valor da mediana que, por sua vez, é inferior ao valor da moda. Neste caso, a cauda da curva é acentuadamente para esquerda (Dias, 2004a). Por exemplo, as areias das praias exibem, predominantemente, assimetria negativa, ao contrário das de duna que revelam assimetria positiva; o que não quer dizer que não haja exemplos contrários (Carvalho, 2005).

A Curtose, designada por Folk & Ward por acuidade ou curtose gráfica, põe em destaque a relação que existe entre a parte central da distribuição e as extremidades. Trata-

se de grau de achatamento de uma curva em relação à curva representativa de uma distribuição normal (Carvalho, 2005). Tal como vem explicito na Tabela 4.4, a curva de distribuição da curtose pode ser classificada como: platicúrtica (achatada), mesocúrtica (normal) ou leptocúrtica (alongada). Os valores de curtose muito altos ou muito baixos podem sugerir que um tipo de material foi transportado de uma determinada área-fonte e depositado sem perder suas características originais (Dias & Carvalho, 2004; Dias, 2004a; Carvalho, 2005). A curva platicúrtica mostra um espalhamento de sedimentos mais finos e mais grossos nas caudas, indicando mistura de diferentes subpopulações. A ausência de espalhamento de sedimentos nas curvas leptocúrticas indica sedimentos bem selecionados na parte central da distribuição (Dias, 2004a; Carvalho, 2005; Nichols, 2009).

#### **4.2.3. Determinação da densidade dos sedimentos**

A determinação da densidade dos sedimentos foi obtida pelo emprego de picnómetro e foi realizada no laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociência da Universidade de Aveiro. A escolha desse método deveu-se à disponibilidade dos picnómetros, à quantidade das amostras reduzida para o efeito e às recomendações da exatidão dos resultados, embora este procedimento seja clássico.

Os procedimentos seguidos e aqui descritos para determinar as densidades dos sedimentos também foram similarmente descritos por vários autores incluindo Ruban et al., (2014). A determinação da densidade de partículas do solo e sedimentos possui grande relevância como indicativo da composição mineralógica, cálculo de velocidade de sedimentação de partículas em líquidos e determinação indireta da porosidade (Ruban et al., 2014; Schintu et al., 2016).

Segundo a definição de Ruban et al. (2014), a densidade de partícula de sedimento é a relação existente entre a massa de uma amostra de sedimento e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas. Assim sendo, a densidade real de uma amostra de sedimento é calculada a partir da medida de duas quantidades: a massa de uma amostra e seu volume. Para o efeito, e com uma balança analítica de precisão 0,01g e copos de 250 ml devidamente referenciados, registaram-se as massas dos copos sem amostras e com amostras. Estas antes de pesagem foram secas a 50°C em 72 horas, arrefecidas durante 15 minutos, quarteadas e crivadas com peneiro (ASTM) de malha de abertura 2mm. De seguida determinaram-se as massas de sedimentos ( $m$ ) a partir das diferenças de massas

dos copos sem amostras e com amostras. Depois, utilizando uma pipeta encheu-se cuidadosamente o picnómetro de 50 ml devidamente limpo com água destilada, acertou-se o nível de água pela marcação do frasco, verificou-se se existiam bolhas de ar (em caso de formação de bolhas de ar repetia-se o procedimento). De seguida determinou-se a massa do picnómetro com água ( $m_1$ ). Depois, Introduziu-se a amostra no picnómetro cuidadosamente de modo a evitar a formação de bolhas de água e perda de sedimento. Retirou-se água do picnómetro até o ajuste da água pela marca. Mediu-se a massa do picnómetro com água e sedimento ( $m_2$ ), calculou-se o volume (massa) de água deslocada pela amostra ( $m_3$ ) a partir da diferença das massas de picnómetro sem amostra e com amostra (Equação 4.9), finalmente calculou-se o valor da densidade da amostra ( $d$ ) a partir da divisão da massa de sedimento ( $m$ ) pelo volume de água deslocado pela amostra ( $m_3$ ) (Equação 4.10).

$$m_3 = [m_2 - m_1] \text{ (g)} \quad (\text{Eq.4.9})$$

$$d = \frac{m}{m_3} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (\text{Eq.4.10})$$

Para o cálculo da densidade relativa dos sedimentos utilizou-se para a densidade de referência, a densidade da água ( $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$ ), assumindo que no momento da execução desta análise, a atmosfera e a temperatura encontravam-se em condições normais. A densidade relativa foi determinada a partir da razão entre a densidade dos sedimentos, ou seja, a massa volumétrica de sedimentos ( $d$ ) e a densidade de referência ( $\rho$ ). A equação 4.11 mostra a expressão de cálculo de densidade relativa dos sedimentos.

$$d_r = \frac{d}{\rho} \quad (\text{Eq.4. 11})$$

#### 4.2.4. Análise mineralógica

A análise mineralógica foi realizada no laboratório de Raios X da Universidade de Aveiro, e para sua execução foi aplicada a técnica de Difração de Raios X (DRX). Esta técnica foi escolhida pela sua simplicidade, rapidez, fiabilidade dos resultados obtidos e consagrada utilização em análises mineralógicas (Albers, Melchiades, Machado, Baldo, & Boschi, 2002). É uma técnica que fornece informações amplas, precisas e pormenorizadas quanto à qualificação, caracterização e quantificação dos minerais presentes (Gomes, 1988). Esta é também uma técnica de análise não destrutiva, ou seja, as análises por DRX

podem incidir sobre a amostra total, devidamente seca e finamente moída, ou sobre frações granulométricas ou outras, previamente separadas, com a amostra poder ser utilizada para outros fins analíticos (Rocha, 1993; Caetano, 2004). Cada espécie mineral cristalina tem um modelo de difração específico, a partir do qual pode ser identificada, mesmo em misturas complexas (Rocha, 1993). Assim, desde que a porção analisada seja representativa da amostra, e que todas as fases preliminares de preparação sejam executadas de um modo cuidadoso e sistemático, a DRX responde eficazmente ao pretendido (Rocha, 1993). Contudo, isto é possível porque na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios X. Ao incidir um feixe de raios X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração (Gomes, 1998; Albers et al., 2002; Caetano, 2004). A difração de raios X ocorre segundo a Lei de Bragg (Equação 4.11 e Figura 4.11), a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina) (Brindley & Brown, 1980; Albers et al., 2002; Caetano, 2004):

$$2x d_{hkl} \text{sen}(\Theta) = n\lambda \Leftrightarrow d_{hkl} = \frac{n\lambda}{2x \text{sen}(\Theta)} \quad (\text{Eq.4.12})$$

Onde:

- $d_{hkl}$  – Afastamento entre dois planos do cristal, ou seja, equidistância entre planos atômicos da mesma natureza, por isso pertencentes a uma mesma família de planos com índices gerais (hkl);
- $\Theta$  – Ângulo formado entre os raios do feixe incidente e os planos atômicos (hkl) refletoras do cristal;
- $n$  – É um número inteiro (1, 2, 3...), corresponde à ordem dos feixes de raios X difratados;
- $\lambda$  – Comprimento de onda dos raios X incidentes.

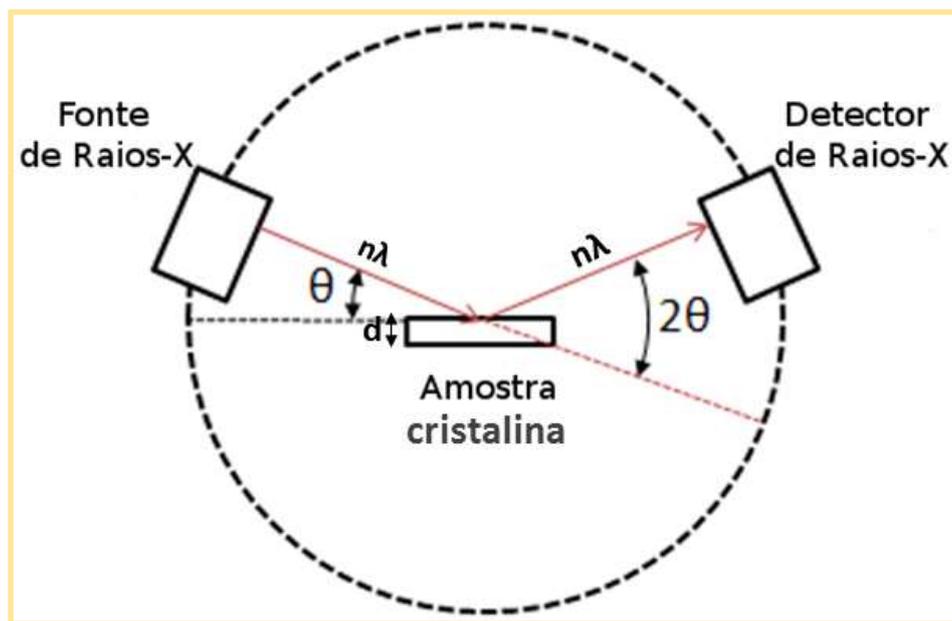


Figura 4.20. Representação esquemática da dedução da equação de Bragg. Imagem adaptada de: <http://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/difracao-de-raio-x/>, acesso em 05/08/2016.

Na preparação das amostras para análise mineralógica utilizou-se a fração de sedimentos  $<63 \mu\text{m}$  e seguiram-se os procedimentos para análises de agregados não orientados descritos por Rocha (1993), Rocha & Ramalho (1995), Rocha et al. (2005), Abrantes (2005), Martins et al. (2007) e Martins et al. (2012). As preparações de agregados não orientados permitem determinar outros máximos de difração para além das séries basais (001). Como as argilas têm tendência natural para se orientarem, dando fracas reflexões (hkl), os agregados não orientados revelam-se adequados para a identificação e quantificação de espécies minerais não argilosas (Abrantes, 2005).

Antes de ser analisada no difratómetro, uma porção representativa fração fina ( $<63 \mu\text{m}$ ) da amostra é suavemente desagregada (de forma a não alterar a granulometria) num almofariz de ágata. É então colocada uma pequena porção de amostra (cerca de 2g) no porta-amostras “*standard*” de alumínio (Figura 4.21), de base móvel, do difratómetro de raios X, comprimindo levemente o pó, para não ser conferida uma orientação preferencial aos cristais.

Neste trabalho, foi analisada a composição mineralógica de 14 amostras, nas quais foi possível obter uma quantidade mínima de 1 a 5 gramas de fração granulométrica  $<63 \mu\text{m}$ . Esta fração fina foi também usada nas análises geoquímicas. Nas restantes amostras não foi possível obter quantidade de finos suficientes para efetuar análises mineralógicas e

geoquímicas. Os finos foram escolhidos porque numa pequena quantidade de amostra é a fração que melhor reflete a composição mineralógica e geoquímica do sedimento (Lima et al., 2001; Carvalho, 2005; Abrantes, 2005; Baggio, 2010; Baggio & Horn, 2012).



Figura 4.21. Visualização da fase de preparação de tomas de amostra para análise mineralógica

Para obtenção dos difractogramas da fração  $<63 \mu\text{m}$  seguiram-se também os procedimentos descritos por Rocha (1993), Rocha & Ramalho (1995), Rocha et al. (2005), Abrantes (2005), Martins et al. (2007) e Martins et al. (2012). Nestes procedimentos utilizou-se um difractómetro Philips X' Pert (Figura 4.22) constituído por um gerador PW 3040, um goniómetro PW 3050/60, um controlador difratométrico PW 1710 e um registador PM 8230A. Foi utilizada a radiação  $K\alpha\text{Cu}$  ( $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$ ), com monocromatizador de grafite e fenda de divergência automática e um filtro de níquel. As condições operacionais foram as seguintes: 30mA, 50Kv, velocidade do goniómetro de  $1^\circ 2\theta$  por minuto.



Figura 4.22. (A) visualização da imagem do autor em pleno manuseio do difratómetro no laboratório de Raio X da Universidade de Aveiro; (B) imagem do difratómetro de Raios X, modelo Philips X' Pert.

Os registos difractométricos efetuaram-se entre os 4 e 65° 2 $\theta$  e permitiram identificar os minerais de forma qualitativa e semi-quantitativa (Ver Apêndice 4). A Figura 4.23 é um exemplo dos difractogramas que se obtiveram de uma das amostras analisadas neste trabalho.

Os difractogramas obtidos foram interpretados com base nos ficheiros do JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standards*) descritos por Gomes (1990). Neles constam dados estruturais retirados de difractogramas de mais de 2000 espécies minerais padrão. Entre esses dados constam os valores de  $d_{hkl}$  correspondentes às diversas difrações ou reflexões, dispostos por ordem decrescente de valor, bem como as intensidades correspondentes às difrações, para além de outros dados informativos. Também foram utilizadas as tabelas do livro editado por Brindley & Brown (1980) para identificação complementar dos difractogramas.

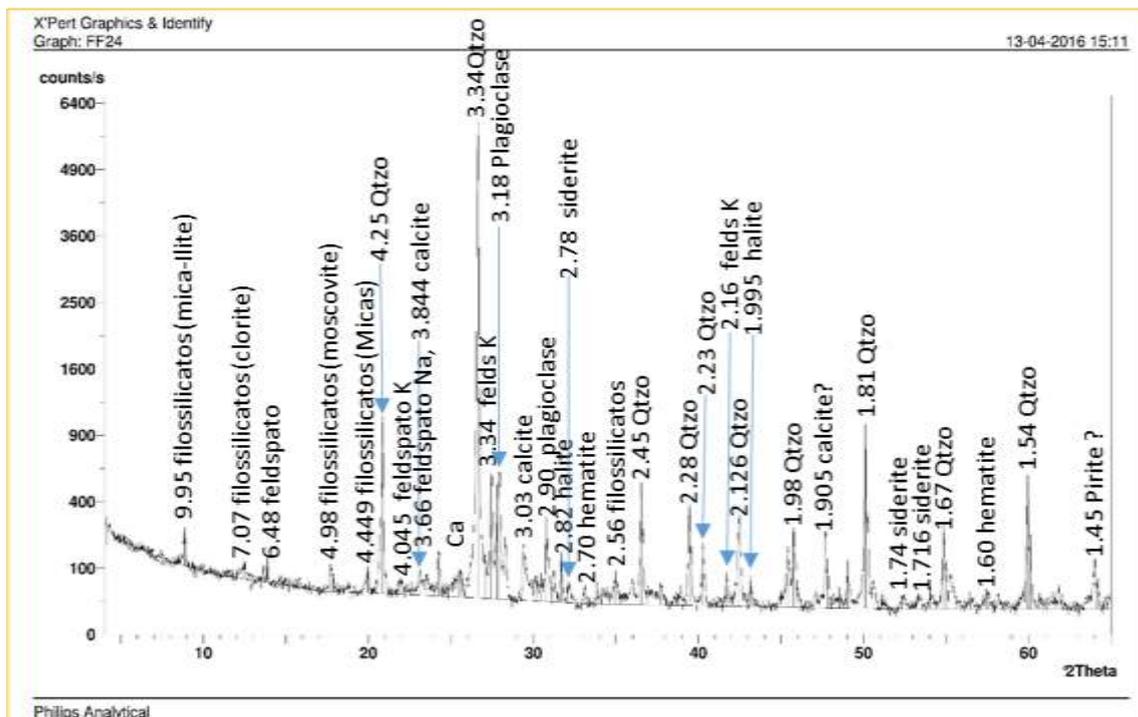


Figura 4.23. Ilustração de um difractograma obtido a partir do Difractómetro do Raios X ilustrado na figura 4.22 acima.

Segundo Gomes (1988), para efetuar uma estimativa semi-quantitativa, quer para minerais argilosos, quer para minerais não argilosos, deve-se avaliar a relação que existe entre as intensidades de certos máximos de difração, específicos de cada espécie mineral, e os teores das mesmas.

Assim, uma análise semi-quantitativa de uma determinada amostra passa por se calcular os valores das áreas dos picos máximos de intensidade das espécies minerais registados nos difractogramas, e pela divisão deste resultado pelo poder refletor respetivo. Os quocientes obtidos são depois convertidos em percentagens relativas, considerando a sua soma igual a 100 (Gomes, 1988). Os poderes refletores utilizados neste trabalho são os que foram referenciados por Martins et al. (2007). Estes foram introduzidos numa folha de cálculo de Excel adaptado para determinar a semi-quantificação dos minerais (Tabela 4.5). Os intervalos de valores numéricos percentuais relativamente consensuais aplicados para quantificar os minerais (de muito abundante a ausente), de acordo com Carvalho (2005), são mostrados na tabela 4.6.

Tabela 4.5. Visualização de um exemplo de resultados de semiquantificação dos minerais obtidos a partir da folha de cálculo de Excel

<b>FF24</b>						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	% Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,6	9,7	5,82	2,91	54,74
Flds K	1	0,3	2,1	0,63	0,63	11,85
Plag	1	0,3	2,1	0,63	0,63	11,85
Calc	1	0,3	1	0,30	0,30	5,64
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,1	1	0,10	0,05	0,94
Sid	1	0,5	0,3	0,15	0,15	2,82
Fls	0,2	0,2	0,6	0,12	0,60	0,70
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zeólitos	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5			0,00	0,00	0,00
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3	0,2	0,3	0,06	0,05	0,87
Pyr	1			0,00	0,00	0,00
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
<b>Somatório</b>					5,32	100

Tabela 4.6. Intervalos de valores percentuais relativamente consensuais para qualificar os minerais em níveis de abundâncias, adaptado Carvalho (2005).

% do mineral	Nível de abundância atribuído
0	Ausente
1	Raro
2 a 5	Escasso
5 a 10	Comum
10 a 20	Muito comum
20 a 40	Pouco abundante
40 a 80	Abundante
80 a 100	Muito abundante

#### 4.2.5. Análise geoquímica

##### 4.2.5.1. Análise de metais

A análise geoquímica foi realizada no laboratório de geoquímica do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, e para dissolução (degradação) das amostras dos sedimentos (fração <0,063mm) foi aplicado o Método 3050B Digestão Ácida de

Sedimentos, Lodos e Solos da norma USEPA (*Environmental Protection Administration Agency, United States*; traduzido em português: Agência de Proteção Ambiental Norte Americana). Este método foi escolhido por ser um dos mais recomendados em análises de sedimentos, lodos e solos, e pelo tipo do instrumento de leitura de metais disponível, além de produzir resultados fiáveis (Habte et al., 2016). Trata-se de um método que dissolve quase todos os elementos que podem tornar-se “disponíveis no meio ambiente” ou facilmente trocáveis tais como: cádmio, cromo, cobre, chumbo, níquel, arsênico, dentre outros, mas não promove a digestão total de alguns metais, por exemplo, aqueles ligados em estrutura de silicatos, pois estes não são geralmente móveis no meio ambiente (USEPA, 1996; Skoog et al., 2005). Ao escolher a análise por Espectrometria de Massa por Plasma Indutivamente Acoplada (em inglês: *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS*) para a leitura dos metais, a solução resultante (o digerido) é reduzido em volume, enquanto aquecido; em seguida, filtrado e diluído até o volume final de 100 ml (USEPA, 1996). A amostra é filtrada em filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  no momento da colheita e fase líquida é então acidificada com adição de ácido nítrico. As amostras com mais metais dissolvidos não precisam ser digeridas, enquanto as concentrações de ácidos sejam ajustados para a mesma concentração descrita na norma (Skoog et al., 2005). É um tipo de espectrometria de massa que é capaz de detetar metais e diversos não-metais em concentrações muito baixas como parte por milhão ou parte por bilião; além disso, são rápidos convenientes e geralmente de alta seletividade (Skoog et al., 2005). Como foi referido acima, o método envolve a ionização da amostra com plasma acoplado indutivamente e a utilização de um espectrómetro de massa para separar e quantificar esses iões (Wikipédia, 2015).

Assim, para análise geoquímica, misturou-se a fração <0,063mm para poder homogeneizar a amostra, e com o auxílio de tubo de digestão devidamente referenciado, pesaram-se cerca de 0,5g da fração (peso seco) com a balança analítica de precisão 0,01g e posteriormente foram arrumados no bloco de digestão com uma fonte de aquecimento (micro-ondas) entre 90 a 95°C (Figura 4.24<sup>a</sup> e Figura 4.24B). De seguida, utilizando uma micropipeta, adicionaram-se às amostras 2,5 ml de água e 2,5ml de  $\text{NHO}_3$  (1:1). Misturou-se a solução, cobriu-se com o vidro de relógio e aqueceu-se a 95°C e o refluxo de 10 minutos sem ebulição. Deixou-se arrefecer durante 5 minutos. Após isso, às amostras foram adicionadas 2,5ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado, recolocou-se o vidro de relógio, aqueceu-se 95°C com refluxo durante 30 minutos. Durante este período de tempo verificou-se a formação de fumos castanhos (indicação da oxidação das amostras por ácido nítrico), e por isso repetiu-

se o procedimento (adição contínua de 2,5ml de ácido nítrico concentrado) até ao desaparecimento de fumos castanhos (indicação da oxidação completa das amostras com ácido nítrico concentrado). Deixou-se evaporar a solução a 95°C durante 2 horas. Neste procedimento fez-se recuperação dos vapores a partir de vidro de relógio com nervura. Todos os cuidados foram tomados para garantir que as perdas por efervescência não ocorressem. Deixou-se arrefecer as amostras durante 5 minutos, adicionou-se 1ml de H<sub>2</sub>O desmineralizada e 1,5ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30%. Tapou-se as amostras com vidro de relógio e aqueceram-se novamente a 95°C. Durante o aquecimento adicionam-se faseadamente 1ml (não mais de um total de 5ml) de alíquota de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> até a mínima efervescência ou alteração de aspecto das amostras. Uma vez cobertas as amostras com vidro de relógio, continuou-se aquecer a mistura “ácido digerido-peróxido” até redução do volume de 2,5 ml (a temperatura de  $\pm$  95°C) sem a ebulição durante 2 horas. Manteve-se coberta a solução sobre a parte inferior do vaso da digestão em todos os momentos. Deixou-se arrefecer a solução durante 5 minutos, centrifugou-se a 3500 ciclos por segundo durante 10 minutos, retirou-se o sobrenadante, colocou-se em tubos digestores devidamente referenciados e posteriormente diluiu-se com água desmineralizada até o volume final de 100 ml. Terminado este procedimento, submeteu-se a solução a análise por Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplada (ICP-MS) para a leitura dos metais (Figura 4.25C e Figura 4.25D). Durante este processo registavam-se e ajustaram-se as respetivas curvas de calibração (Figura 4.26G). A espectrometria utilizada é da referência *Agilent Technologies 7700 Series ICP-MS* (Figura 4.15E e Figura 4.15F).

Durante todo o processo de digestão de sedimentos foi feito um controlo de qualidade (um tubo em branco) das amostras e a verificação de erros analíticos a partir da duplicação de análise de duas (FF5R e FF13R) amostras escolhidas aleatoriamente (correspondendo 15% das 14 amostras analisadas). Este procedimento fornece informação sobre o erro instrumental, mas também sobre o erro de preparação química, no caso desta amostra repetida sofrer uma preparação distinta da amostra de onde foi tirada (Marques, 2006).

Formaram analisados 21 elementos químicos, com exceção do Berílio, por ter concentrações abaixo do limite de deteção do equipamento. Os resultados obtidos da análise geoquímica são apresentados em dois grupos: elementos maiores em percentagem (convertidos de mg/kg para %, a partir da conversão das unidades em soluções aquosas mostradas na Equação 4.12 e Equação 4.13, Reimann e Caritat, 1998) e elementos traços

em mg/kg, ambos acompanhados por seguintes limites de deteção (LD em  $\text{mg l}^{-1}$ ): Ca  $<0,015$ ; Fe  $<0,000386$ ; Al  $<0,001329$ ; Na  $<0,056$ ; Mg  $<0,001$ ; K  $<0,043$ ; Be  $<0,000674$ ; Mn  $<0,000156$ ; Zn  $<0,000248$ ; Ba  $<0,000038$ ; Cr  $<0,000023$ ; V  $<0,000007$ ; Ni  $<0,000077$ ; Pb  $<0,000198$ ;  $<0,000699$ ; Cu  $<0,000076$ ; Cd  $<0,000025$ ; Co  $<0,000034$ ; U  $<0,000008$ ; Mo  $<0,000057$ ; Tl  $<0,000012$ ; Ag  $<0,000$ .

O limite de deteção é um parâmetro importante da caracterização química das amostras sedimentares. Este conceito refere a concentração mínima de um contaminante específico que pode ser detetado com precisão, ou seja, é a menor concentração de uma substância em análise que pode ser estatisticamente detetada mas não quantificada, uma vez que a quantificação a este nível está sujeita a erros significativos. Uma leitura inferior ao limite de deteção não significa, naturalmente, a completa ausência da substância a analisar. Este parâmetro varia em função da colheita da amostra e seu transporte, sensibilidade do equipamento, método de análise escolhido e interferência na amostra e sua quantidade (Bray, 2008). No Apêndice 3 são apresentadas as massas das amostras utilizadas para análise geoquímica.

$$\text{ppm} = \text{mgkg}^{-1} = \mu\text{g}^{-1} = \mu\text{gl}^{-1} = \mu\text{gml}^{-1} = \text{mg l}^{-1} \quad (\text{Eq.4.13})$$

$$1\% = 10000 \text{ ppm} = 10000 \text{ mgkg}^{-1} \quad (\text{Eq.4.14})$$

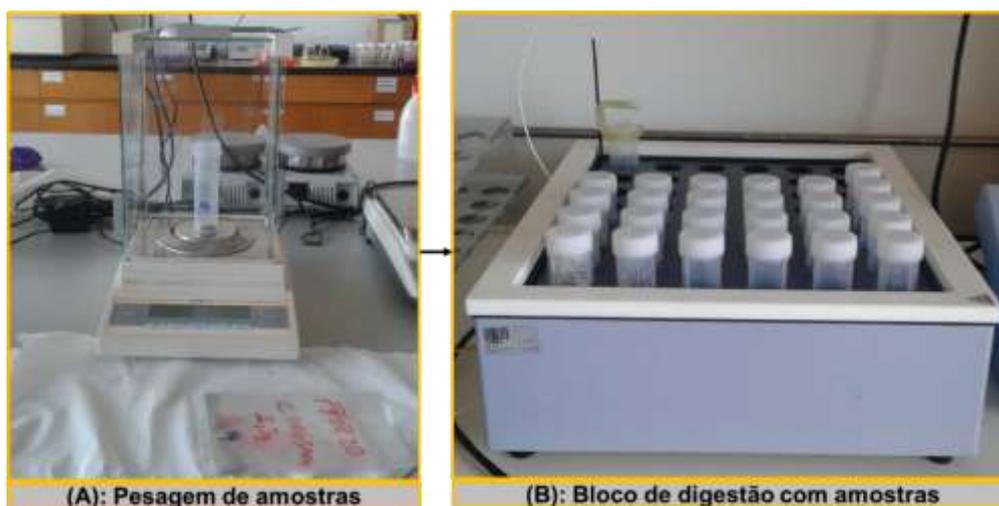


Figura 4.24. Ilustração de algumas fases de análise de metais, (A) Pesagem de amostras ( $<63 \mu\text{m}$ ), (B) arrumação das amostras no bloco de digestão

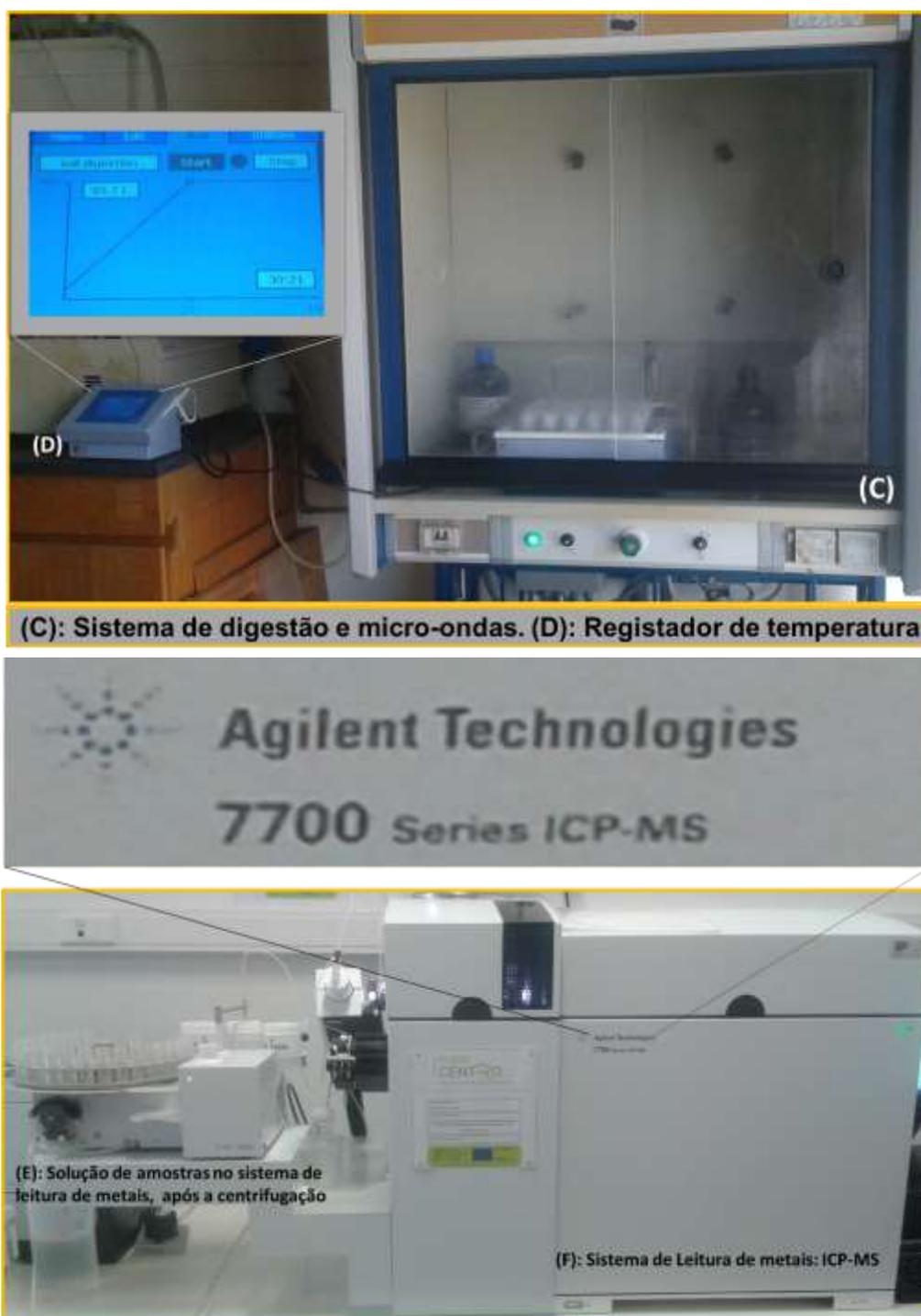


Figura 4.25. Ilustração de algumas fases de análise de metais. (C) Sistema de digestão e micro-ondas em pleno funcionamento, (D) registador de temperatura, (E) Solução de amostras no sistema de leitura de metais (ICP-MS) e (F) Sistema de leitura de metais (ICP-MS).

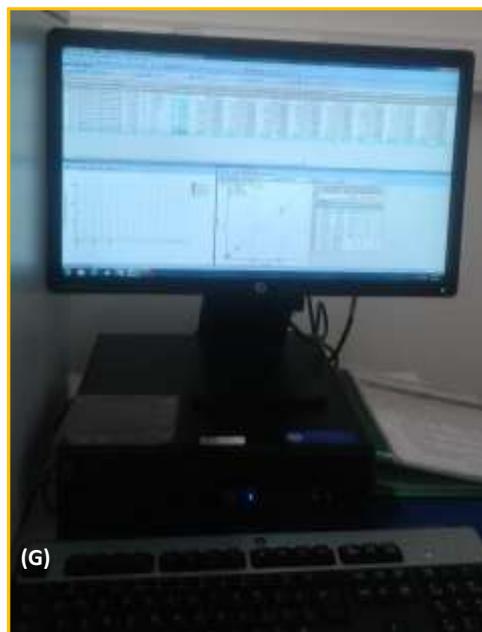


Figura 4.26. (G) Ilustração de fase de calibração das retas de concentração de metais após a leitura por ICP-MS

Segundo Choudhuri (1997), Reimann & Caritat (1998), os elementos são considerados maiores quando as concentrações em % de peso do respetivo óxido, é geralmente maior que 1% (>10000 ppm). Já os elementos vestigiais são os que apresentam concentrações inferiores a 0,1 % (<1000 ppm).

O termo elemento traço refere-se a elementos químicos presentes ou requeridos em concentrações relativamente baixas (usualmente entre 1 a 0,1%) em solos e plantas. São encontrados naturalmente no meio ambiente e na exposição humana deriva de uma variedade de fontes, incluindo ar, água potável e alimentos (Guilherme et al., 2005; Pierzynski et al., 2005; Silvera & Rohan, 2007; Essington, 2015). Eles podem ser essenciais para o crescimento e desenvolvimento de seres humanos ou outros organismos, embora muitos não são.

Os elementos traços como poluentes são aqueles relacionados com a saúde e criam doenças agudas e crónicas em seres humanos, animais, plantas ou organismos aquáticos, pois a sua deficiência ou excesso podem induzir mudanças fisiológicas nos indivíduos (Pierzynski et al., 2005; Silvera & Rohan, 2007; Essington, 2015). A Organização Mundial de Saúde (WHO) classificou 19 elementos traço como sendo importantes para a saúde humana, incluindo Arsénio (As), Cádmio (Cd), Níquel, Selénio (Se), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), entre outros (Pierzynski et al., 2005; Silvera & Rohan, 2007; Essington, 2015).

De acordo com WHO (1996), os elementos traço podem ser distribuídos em três grupos em função de sua significância nutricional em humanos. O primeiro é designado por elementos essenciais: I, Zn, Se, Cu, Mo, Cr, Fe e Co; seguido de elementos provavelmente essenciais: Mn, Si, Ni, B, V, e o terceiro são elementos potencialmente tóxicos, alguns dos quais podem contudo realizar algumas funções essenciais em níveis baixos de concentração: F, Pb, Cd, Hg, As, Al, Li, Sn. Os valores ou intervalos de valores que ocorrência ou exposição são referências para classificação dos sedimentos.

Neste trabalho, a classificação de sedimentos quanto ao teor de substâncias químicas perigosas e aptidão ambiental foi feita de acordo com os valores estabelecidos na Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, que estabelece que para efeitos de dragagem e eliminação de sedimentos deve-se determinar as características (físicas e químicas) e composição destes materiais. O referido diploma classifica os materiais dragados em 5 classes de qualidade de acordo com o grau de contaminação por Arsénio, Cádmio, Cobre, Mercúrio, Chumbo, Níquel, Zinco e compostos orgânicos, e com a forma de eliminação destes materiais. Assim, a classificação obtida indicará o destino final possível e adequado do dragado, que se traduz no respetivo nível de ação (EP solos e sedimentos, 2012). Contudo, de acordo com os objetivos traçados, neste trabalho foram feitas apenas as análises dos metais. A Tabela 4.7 e o Tabela 4.8 mostram os valores de referência e as respetivas 5 classes de qualidades de sedimentos adaptados para este trabalho.

Tabela 4.7. Classificação de materiais de acordo com o grau de contaminação: metais ( $\text{mgkg}^{-1}$ ), compostos orgânicos ( $\text{ugkg}^{-1}$ ), adaptado de adaptado do anexo III da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
<b>Metais (<math>\text{mgkg}^{-1}</math>)</b>					
Arsénio	<20	[20 - 50[	[50 - 100[	[100 - 500]	>500
Cádmio	<1	[1 - 3[	[3 - 5[	[5 - 10]	>10
Crómio	<50	[50 - 100[	[100 - 400[	[400 - 1000]	>1000
Cobre	<35	[35 - 150[	[150 - 300[	[300 - 500]	>500
Chumbo	<50	[50 - 150[	[150 - 500[	[500 - 1000]	>1000
Zinco	<100	[100 - 600[	[600 - 1500[	[1500 - 5000]	>5000
Níquel	<30	[30 - 75[	[75 - 125[	[125 - 250]	>250
<b>Compostos orgânicos (<math>\mu\text{gkg}^{-1}</math>)</b>					
PCB (soma)	<5	[5 - 25[	[25 - 100[	[100 - 300]	>300
PAH (soma)	<300	<300	[300 - 2000[	[2000 - 6000]	>20000
HCB	<0,5	[0,5 - 2,5[	[2,5 - 10[	[10 - 50]	>50
PCB - Bifenilos policlorados; PAH - Hidrocarbonetos aromáticos; HCB - Hexaclorobenzeno.					

Tabela 4.8. Classes de qualidades dos sedimentos (material dragado), adaptado do anexo adaptado do anexo x da Portaria n.º1450/2007 de 12 de Novembro

<b>Classe 1</b>	Material limpo, que pode ser depositado no meio aquático, utilizado em locais sujeitos a erosão ou na alimentação de praias sem quaisquer restrições;
<b>Classe 2</b>	Material com contaminação vestigial, podendo ser imerso no meio aquático tendo em conta as características do meio recetor e o uso legítimo do mesmo;
<b>Classe 3</b>	Material ligeiramente contaminado, que pode ser usado em terraplenos e imerso em meio aquático, sendo neste último necessário um estudo aprofundado do local e posterior monitorização;
<b>Classe 4</b>	Material contaminado, devendo ser colocado em terra, num local impermeabilizado, sendo recomendada uma posterior cobertura com solos impermeáveis;
<b>Classe 5</b>	Material muito contaminado, que idealmente não deve ser dragado, mas no caso imperativo deve ser submetido a tratamento prévio e depositado num aterro de resíduos devidamente autorizado, sendo proibida a sua imersão.

#### 4.2.5.2. Análises de matéria orgânica, teores de carbonatos e carbono orgânica total

Convencionalmente a análise da determinação do teor carbonatos e da matéria orgânica total (MOT) foi colocada neste trabalho como um dos pontos de análise geoquímica. Esta análise foi realizada no laboratório de sedimentologia do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Tanto na fase de preparação de amostras como a suas respetivas análises seguiram-se os procedimentos para determinação de teores de matéria orgânica e carbonatos nos sedimentos e solos recomendados por Jackson (2005), Skoog et al. (2005) e descritos similarmente por Prata et al. (2000) e Silva et al. (2008). Assim, em 36 amostras foram determinados os teores de carbonatos (Carb) e da matéria orgânica total (MOT). Para tal, com uma balança analítica de precisão 0,01g e copos de 250 ml devidamente referenciados, registaram-se as massas dos copos sem amostras ( $m_{cv}$ ) e com amostras ( $m_{ca}$ ) (antes secas a 50°C em 72 horas e arrefecidas durante 15 minutos). De seguida determinaram-se as massas iniciais de sedimentos ( $m_s$ ) a partir das diferenças de massas dos copos sem amostras e com amostras (Equação 4.15). Neste caso, foram utilizados para análise cerca de 20 g da fração sedimentar seca <2 mm representativos de cada amostra após quarteamento e crivagem com o peneiro (ASTM) de malha de aberto 2 mm. A cada amostra colocada no copo de 250 ml foi adicionado lentamente 50 ml de 1000 ml do peróxido de hidrogénio a 30% (v/v) com objetivo de destruir a matéria orgânica. Este procedimento foi repetido várias vezes até não se observar a efervescência. De seguida, e com auxílio de uma vareta para agitar a solução, as amostras foram lavadas com água desmineralizada por 3 vezes com a finalidade de eliminar os sais dissolvidos. De modo a

evitar que a fração de sedimento em suspensão seja excluída, deixou-se a solução decantar até que água ficasse transparente. Este procedimento variava entre 12 a 24 horas. Terminada a decantação, secaram-se as amostras a 60°C durante 72 horas. Após atacadas com peróxidos, decantadas e secas as amostras foram novamente pesadas ( $m_{ap}$ ) e determinadas as suas diferenças. As massas resultantes correspondem aos teores de matéria orgânica total ( $MOT$ ). Estes teores foram convertidos em percentagens (Equação 4.16 e Equação 4.17).

$$m_s = [m_{ca} - m_{cv}] (g) \quad (\text{Eq.4.15})$$

$$MOT = [m_s - m_{ap}] (g) \quad (\text{Eq.4.16})$$

$$\% = \frac{MO}{m_s} \times 100 \quad (\text{Eq.4.17})$$

Feito isso, passou-se à fase de eliminação dos carbonatos (bioclastos). Para o efeito, a cada amostra ( $MOT$ ) foi adicionada lentamente 50 ml de 1000 ml de solução de ácido clorídrico (HCl) a 10%. Este procedimento foi repetido várias vezes até que não se observar qualquer tipo de reação com sedimentos. E também com auxílio de uma vareta para agitar a solução, as amostras foram lavadas com água desmineralizada por 3 vezes com a finalidade de eliminar os sais dissolvidos. De modo a evitar que a fração de sedimento em suspensão seja excluída, deixou-se a solução decantar até que a água ficasse transparente. Feita a decantação, secaram-se as amostras na estufa a uma temperatura de 60°C. Depois de secas foram determinadas as massas das amostras de sedimentos pela diferença das massas antes ( $MOT$ ) e depois de ataque com ácido clorídrico ( $M_{daa}$ ). As massas resultantes correspondem os teores de carbonatos ( $MC$ ). Estes teores foram convertidos em percentagens (Equação 4.18 e Equação 4.19).

$$MC = [MOT - M_{daa}] (g) \quad (\text{Eq.4.18})$$

$$\% = \frac{MC}{m_s} \times 100 \quad (\text{Eq.4.19})$$

As amostras sedimentares foram classificados quanto aos teores de carbonatos de cálcio e da matéria orgânica de acordo com a classificação proposta por Moreira (2013).

Como a classificação proposto por este autor contempla nível mínimo de teor de matéria orgânica “muito pobre” e não contempla o nível nulo (zero), este nível foi introduzido para este estudo como o nível mínimo. As Tabela 4.9 e Tabela 4.10 mostram os intervalos de valores de carbonatos e da matéria orgânica em percentagem e as respetivas classificações.

Tabela 4.9. Classificação de solos e sedimentos quanto ao teor de carbonatos de acordo com Moreira (2013)

Teor de Calcário- CaCO <sub>3</sub> (%)	Classificação do Solo /Sedimento
≤2,0	Não calcário
2,1 a 5,0	Pouco calcário
5,1 a 10,0	Moderadamente calcário
10,1 a 25,0	Calcário
25,1 a 45,0	Muito calcário
>45,0	Fortemente calcário

Tabela 4.10. Classificação de solos e sedimentos quanto ao teor de matéria orgânica de acordo com Moreira (2013)

% Matéria Orgânica		Nível de Matéria Orgânica
Textura Grosseira	Textura Média e Fina	
0	0	Nulo
≤0,5	≤1,0	Muito baixo
0,6 a 1,5	1,1 a 2,0	Baixo
1,6 a 5,0	2,1 a 7,0	Médio
5,1 a 10,0	7,1 a 15,0	Alto
>10,0	>15,0	Muito alto

### 4.3. Análise estatística

Terminadas as análises granulométricas, mineralógicas e geoquímicas os dados foram submetidos a análise estatística univariada, bivariada e multivariada recorrendo ao programa em *Excel 2013*, *Gradstat versão 8* e *Statistic versão 12*, respetivamente. A partir do *Excel e Gradstat* foram determinados máximos, mínimos, médias, medianas, a curtose, assimetria, moda, D<sub>10</sub>, D<sub>50</sub> e D<sub>90</sub> das amostras sedimentares em estudo. A partir do programa *Statistic versão 12*, foram feitas a correlações bivariadas e elaborados os dendrogramas baseados nas amostras com dados geoquímicos, Análise de Classificação em modo R (em função das variáveis), com base nas correlações de *Pearson* e no método de Ligações Completas para a aglutinação das variáveis. Também foram elaborados os dendrogramas baseados nas amostras com dados geoquímicos em modo Q (em função das estações), com base nas distâncias Euclidianas e no método de Ward para a

aglutinação das estações. Foram usadas nesta análise as mesmas variáveis usadas no dendrograma em modo R.

Os resultados deste trabalho são de índole granulométrica (fração total de 36 amostras), mineralógica (fração sedimentar <63 $\mu$ m de 14 amostras), geoquímica (teores de carbonatos e matéria orgânica da fração sedimentar <2 mm de 36 amostras; teores de metais da fração sedimentar <63 $\mu$ m de 14 amostras) e interpretação espacial de dados oceanográficos obtidos a partir de sonar de varrimento lateral integrados no *ArcGis* versão 10.1. Estes resultados são apresentados na base de interpretação de alguns parâmetros na forma de análise estatística univariada, correlações bivariadas de 39 pares de variáveis e de dendrogramas baseados nas amostras com dados geoquímicos, Análise de Classificação em modo R e Q, descritas acima.

\* Contudo, importante sublinhar, neste estudo, a peneiração de sedimentos arenosos, mesmo depois de submetidos a crivagem por via húmida, não permitiu a obtenção de quantidades mínimas (1 a 5g) dos finos (<63  $\mu$ m) exigidas para análises mineralógicas e geoquímicas em 22 amostras (FF2, FF4, FF6, FF7, FF8, FF9, FF10, FF11, FF12, FF16, FF17, FF21, FF22, FF25, FF26, FF27, FF29, FF30, FF31, FF32, FF35 e FF36). A moagem dos grãos >63  $\mu$ m por moinho de ágata seria um dos métodos alternativos a adotar para a obtenção dos finos (<63  $\mu$ m) nas 22 amostras arenosas, mas por questões de eficácia dos resultados a serem obtidos, aliadas à natureza distinta entre os dois métodos de obtenção dos finos (peneiração e moagem), e as incoerências nas comparações dos resultados, decidiu-se em analisar apenas os finos (14 amostras de sedimentos) obtidos por via de peneiração.

---

**CAPITULO 5. RESULTADOS****5.1. Resultados genéricos da análise granulométrica e densidades de sedimentos**

As 36 amostras fração total dos sedimentos recolhidas durante a segunda campanha científica (FF2015), na embocadura do Porto da Figueira da Foz, no âmbito de um projeto de investigação sobre o estudo da dinâmica sedimentar na embocadura da barra do Porto da Figueira de Foz realizado pela Universidade de Aveiro, para a Administração do Porto de Aveiro e da Figueira da Foz (APAFF S.A.) são maioritariamente arenosas (94,6%), contendo uma quantidade escassa de finos e de cascalhos (Figura 5.1 e Figura 5.2; Tabela 5.1). Estes sedimentos apresentam um diâmetro médio que corresponde à classe de areia média ( $287,94 \pm 165,70 \mu\text{m}$ ). Os locais da área de estudo com sedimentos de maiores e menores tamanhos são a FF36 ( $881,16 \mu\text{m}$ ) e FF1 ( $67,42 \mu\text{m}$ ), correspondendo, respetivamente, às classes de areia grosseira e muito fina. De todas partículas sedimentares analisadas, cerca de 10% apresentam um diâmetro inferior a  $148,02 \mu\text{m}$ , 50% têm um diâmetro inferior a  $294,34 \mu\text{m}$  e 90% de partículas possuem um diâmetro inferior a  $570,16 \mu\text{m}$ . Estas últimas partículas são 7,09 vezes mais comuns do que as partículas com diâmetro inferior a  $148,02 \mu\text{m}$ . No entanto, o diâmetro mais frequente na área de estudo é  $187,5 \mu\text{m}$ . Este representa 50% das frequências dos diâmetros, tendo sido encontrado em 18 estações amostrais. Individualmente, os restantes diâmetros não ultrapassam 34% (Apêndice 1). Embora pela média dos diâmetros a classificação caia na classe da areia média, a classe ligeiramente mais abundante é a da areia fina (38,89%), seguida das classes de areia média (36,11%), areia grosseira (13,89%) e areia muito fina (11,11%). Estes valores tendem a diminuir à medida que estas partículas se afastam da embocadura e da costa (Figura 5.1).

Em geral, estes sedimentos são moderadamente calibrados (média,  $\sigma_I = 0,88 \pm 0,38\emptyset$ ), simetricamente distribuídos (média,  $Sk_I = 0,05 \pm 0,23\emptyset$ ) com distribuição leptocúrtica (média,  $K_G = 1,25 \pm 0,39\emptyset$ ). Em termos percentuais, as classes de calibração distribuem-se em moderadamente calibradas (47,22%), moderadamente bem calibrados (33,33%), mal calibrados (16,67%) e muito mal calibrados (2,78%). O local com o maior da calibração é FF5 ( $\sigma_I = 2,32\emptyset$ ) e o de menor valor desta variável foi encontrando em FF8 ( $\sigma_I = 0,51\emptyset$ ), correspondendo, respetivamente, a sedimentos muito mal calibrados e moderadamente bem calibrados. As classes de assimetria distribuem-se em simétrica (44,44%), grosseiramente assimétrica e finamente assimétrica, ambas com 22,22%, muito

finamente assimétrica (8,33%) e muito grosseiramente assimétrica (2,78%). O local com maior valor de assimetria é FF20 ( $Sk_I = 0,66\emptyset$ ) e de menor valor é FF10 ( $Sk_I = -0,49\emptyset$ ), correspondendo, respetivamente, às classes muito finamente assimétrica e muito grosseiramente assimétrica. Embora no parâmetro curtose estes sedimentos sejam classificados na classe leptocúrtica (devido aos valores extremos que influenciam a média), a classe ligeiramente mais frequente é a mesocúrtica (33,33%), seguida das classes muito leptocúrtica e leptocúrtica, ambas com 25%, e finalmente a classe platicúrtica (16,67%). Os locais com maior e menor valor da curtose são FF14 ( $K_G = 2,48\emptyset$ ) e FF1 ( $K_G = 0,77\emptyset$ ), correspondendo, respetivamente às classes muito leptocúrtica e platicúrtica (Apêndice 1).

A média da densidade relativa destes sedimentos é de  $1,63 \text{ g/cm}^3$  (Tabela 5.1). A densidade mais alta é de  $1,76 \text{ g/cm}^3$  e a mais baixa é de  $1,61 \text{ g/cm}^3$  (FF24). Os locais de área de estudo com sedimentos mais densos ( $>1,63 \text{ g/cm}^3$ ) são FF5 ( $1,76 \text{ g/cm}^3$ ), FF1 ( $1,70 \text{ g/cm}^3$ ), FF28 ( $1,6 \text{ g/cm}^3$ ), FF20 ( $1,662 \text{ g/cm}^3$ ), FF14 ( $1,660 \text{ g/cm}^3$ ), FF26 ( $1,654 \text{ g/cm}^3$ ), FF21 ( $1,652 \text{ g/cm}^3$ ) e FF19 ( $1,64 \text{ g/cm}^3$ ) (Figura 5.3 e Apêndice 2).

De todos os parâmetros granulométricos analisados, incluindo a densidade, os parâmetros  $D_{90}$ , diâmetro médio,  $D_{50}$  e  $D_{10}$  são os que apresentam maior dispersão de seus valores em torno da média, enquanto que a densidade é o parâmetro que apresenta uma distribuição mais uniforme (Tabela 5.1 e Figura 5.3).

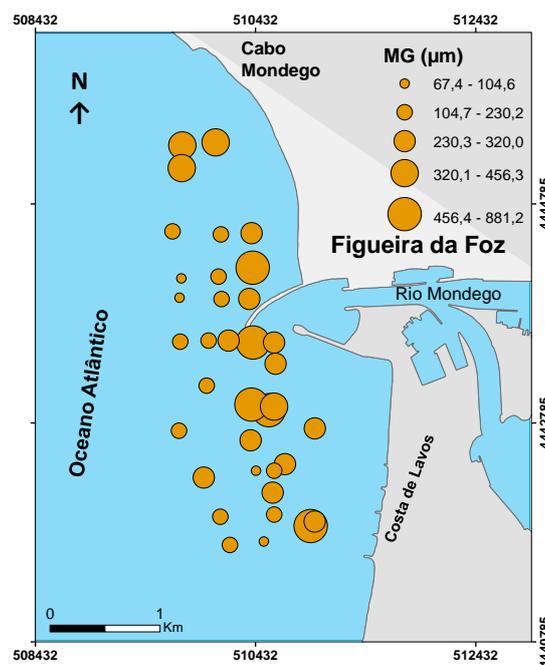


Figura 5.1. Distribuição espacial da média granulométrica (µm) dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz

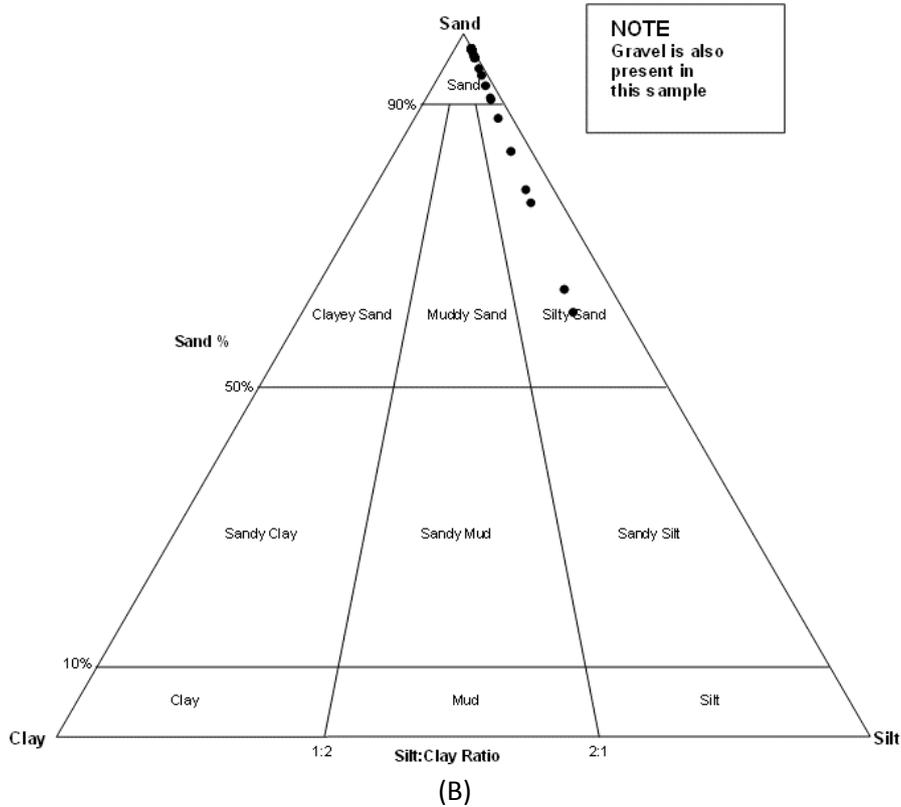
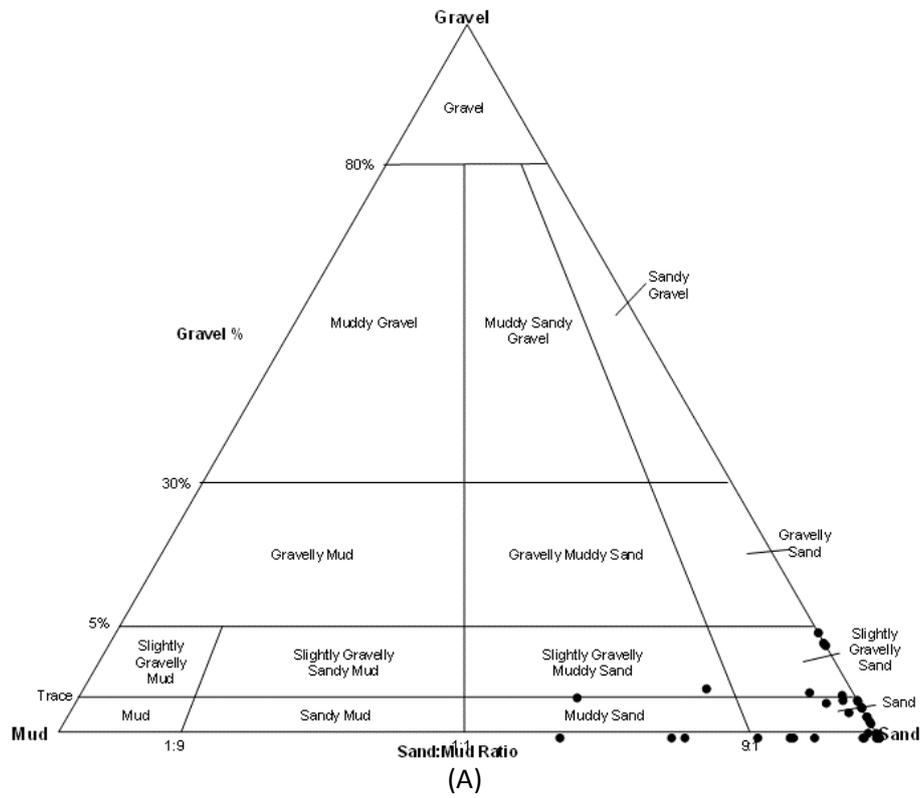


Figura 5.2. Diagrama triangular de classificação de cascalho (A) e areia (B) de acordo com Folk & Ward (1957)

Tabela 5.1. Classificação geral dos sedimentos da embocadura da Barra do Porto da Figueira da Foz.  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{90}$  correspondem, respetivamente, à diâmetros de cortes de 10, 50 e 90% de Peso total de partículas nas amostras estudadas. A expressão  $D_{90}/D_{10}$  é a razão entre os dois diâmetros de cortes

Parâmetros	Máximo	Média	Mínimo	DP
Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	881,16	287,94	67,42	165,70
$D_{10}$ ( $\mu\text{m}$ )	390,28	148,02	8,11	88,05
$D_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	842,73	294,34	98,65	161,68
$D_{90}$ ( $\mu\text{m}$ )	1805,84	570,16	227,71	324,95
$(D_{90} / D_{10})$ ( $\mu\text{m}$ )	66,81	7,09	1,97	11,35
Calibragem ( $\sigma_1$ )	2,32	0,88	0,51	0,38
Assimetria ( $SK_1$ )	0,66	0,05	-0,49	0,23
Curtose ( $K_G$ )	2,48	1,25	0,77	0,39
Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,76	1,63	1,61	0,03
Moda ( $\mu\text{m}$ )	187,500			
<b>Classificação geral</b>				
<b>Grupo de sedimento</b>	Cascalho			0,64%
	Areia			94,55%
	Lodo (finos)			4,81%
<b>Calibração</b>	Muito mal calibrado			2,78%
	Mal calibrado			16,67%
	Moderadamente calibrado			47,22%
	Moderadamente bem calibrado			33,33%
<b>Assimetria</b>	Fortemente assimétrico no sentido dos finos			8,33%
	Assimétrico no sentido dos finos			22,22%
	Simétrico			44,44%
	Assimétrico no sentido dos grosseiros			22,22%
	Fortemente assimétrico no sentido dos grosseiros			2,78%
<b>Curtose</b>	Platicúrtica			16,67%
	Mesocúrtica			33,33%
	Leptocúrtica			25,00%
	Muito leptocúrtica			25,00%
<b>Classes de areia</b>	Areia muito fina			11,11%
	Areia fina			38,89%
	Areia média			36,11%
	Areia grosseira			13,89%



Figura 5.3. Distribuição de densidade da fração sedimentar <2 mm da embocadura do Porto da Figueira da Foz

## 5.2. Dados de sonar de varrimento lateral integrados nos resultados granulométricos

Como já se referiu no capítulo 4, os dados de sonar de varrimento lateral permitem investigar de forma contínua e precisa o fundo marinho. Neste trabalho, a distribuição espacial de sedimentos da área de estudo é descrita com base nos dados obtidos de sonar de varrimento lateral cedidos para este trabalho e de amostras pontuais de sedimentos. A interpretação é feita com base a retrodispersão ou refletividade (*backscatter*) dos sedimentos. O tamanho de grão de sedimentos é o fator dominante na intensidade da retrodispersão: quanto mais grosseira for a textura maior será a quantidade de energia refletida. O cinzento claro ou branco está associado a sedimentos grosseiros e cinzento-escuro ou preto representa a sedimentos finos. Deste modo, na área de estudo é possível identificar com bastante precisão a distribuição espacial de 3 zonas (classes) de sedimentos arenosos: cinzento-escuro (classe de areia fina), cinzento claro (classe de areia média) e branco (classe de areia grosseira). Contudo, é possível distinguir, sem muita precisão, a classe de areia muito fina (os locais mais escuros da área de dados de sonar de varrimento lateral (Figura 5.4).

Recorrendo à granulometria das amostras pontuais (Figura 5.5), os sedimentos recolhidos nos locais de muito baixas retrodispersão correspondem exatamente aos sedimentos finos e muito finos, e os recolhidos nos locais com maior e muito alta retrodispersão também correspondem aos sedimentos médios e mais grosseiros. Para cada classe definida na análise granulométrica das amostras pontuais atribuiu-se uma cor distinta para facilitar sua identificação. O vermelho corresponde a areia grosseira, o amarelo a areia média, verde a areia fina e o azul corresponde a areia muito fina (Figura

5.5 e Figura 5.6). A partir destas cores fez-se uma interpretação manual (cartografia) do mosaico do sonar de varrimento lateral (Figura 5.7), o que permitiu cartografar a distribuição espacial dos vários tipos de sedimentos de fundo.

Nas Figuras 5.7 e 5.9 (ver as profundidades no Apêndice 3), pode-se verificar que a percentagem dos sedimentos finos é relativamente parecida à dos sedimentos médios. Os sedimentos mais finos encontram-se mais afastados da embocadura e os mais grosseiros encontram-se ao longo do canal fluvial do rio Mondego e mais próximos da costa, particularmente, a Costa de Lavos, como seria de esperar. A partir de dados batimétricos do local, colhidos no local estudo em 2013 (Figura 5.8), nota-se também que os sedimentos grosseiros e médios são depositados em locais da embocadura com baixas profundidades. A sua deposição geralmente está relacionada com a redução de energia no processo de transporte ou escoamento. Os sedimentos mais finos são transportados por suspensão e depositados mais tarde em locais mais profundos e de menor turbulência.

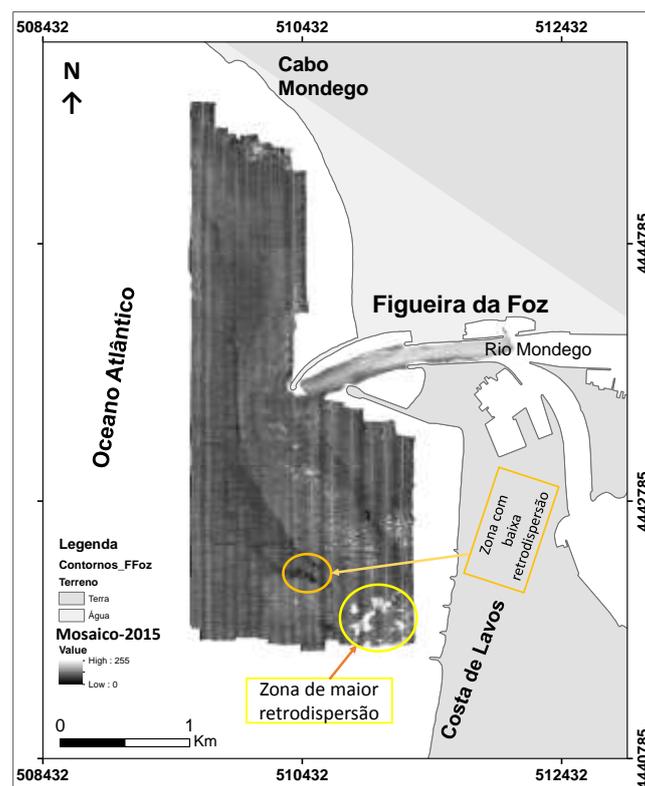


Figura 5.4. Mosaico de Sonar de Varrimento Lateral (FF2015) da área da embocadura do Porto da Figueira da Foz, obtido após o processamento de dados de Sonar de Varrimento Lateral adquiridos durante a campanha oceanográfica realizado em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro (Pinheiro, com. pessoal), georreferenciados e interpretados pelo autor deste trabalho. Nesta figura, observa-se dentro do contorno circular amarelo, a zona de maior retrodispersão (classe de areia grosseira, e dentro do contorno laranja, a zona de baixa retrodispersão (classe de areia muito).

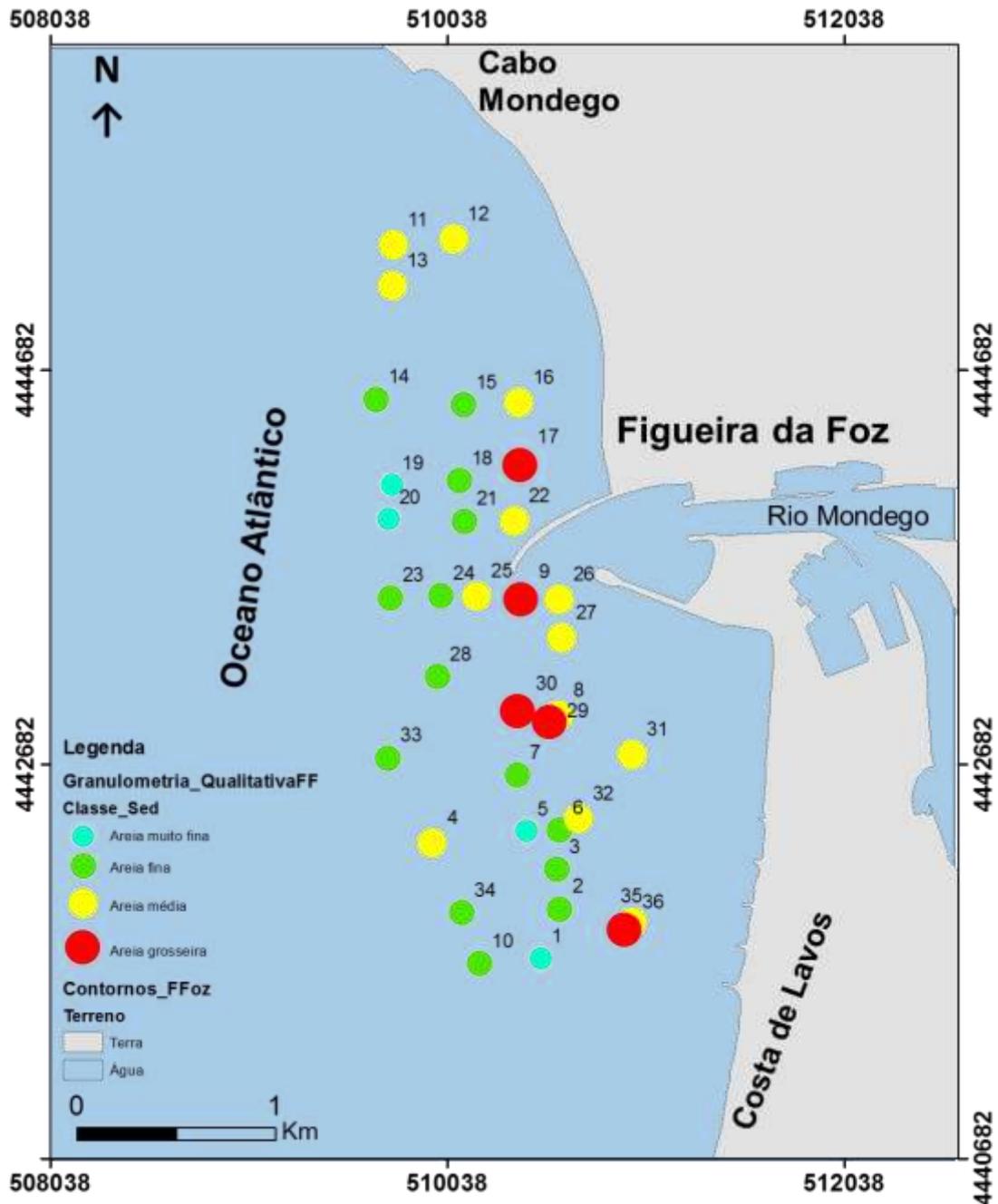


Figura 5.5. Distribuição granulométrica das 36 amostras pontuais de sedimentos colhidas na embocadura do Porto da Figueira da Foz, durante a campanha oceanográfica realizada em Setembro de 2015 pela Universidade de Aveiro. A cor azul representa areia muito fina, verde representa areia fina, amarelo representa areia média e vermelho representa areia grossa.

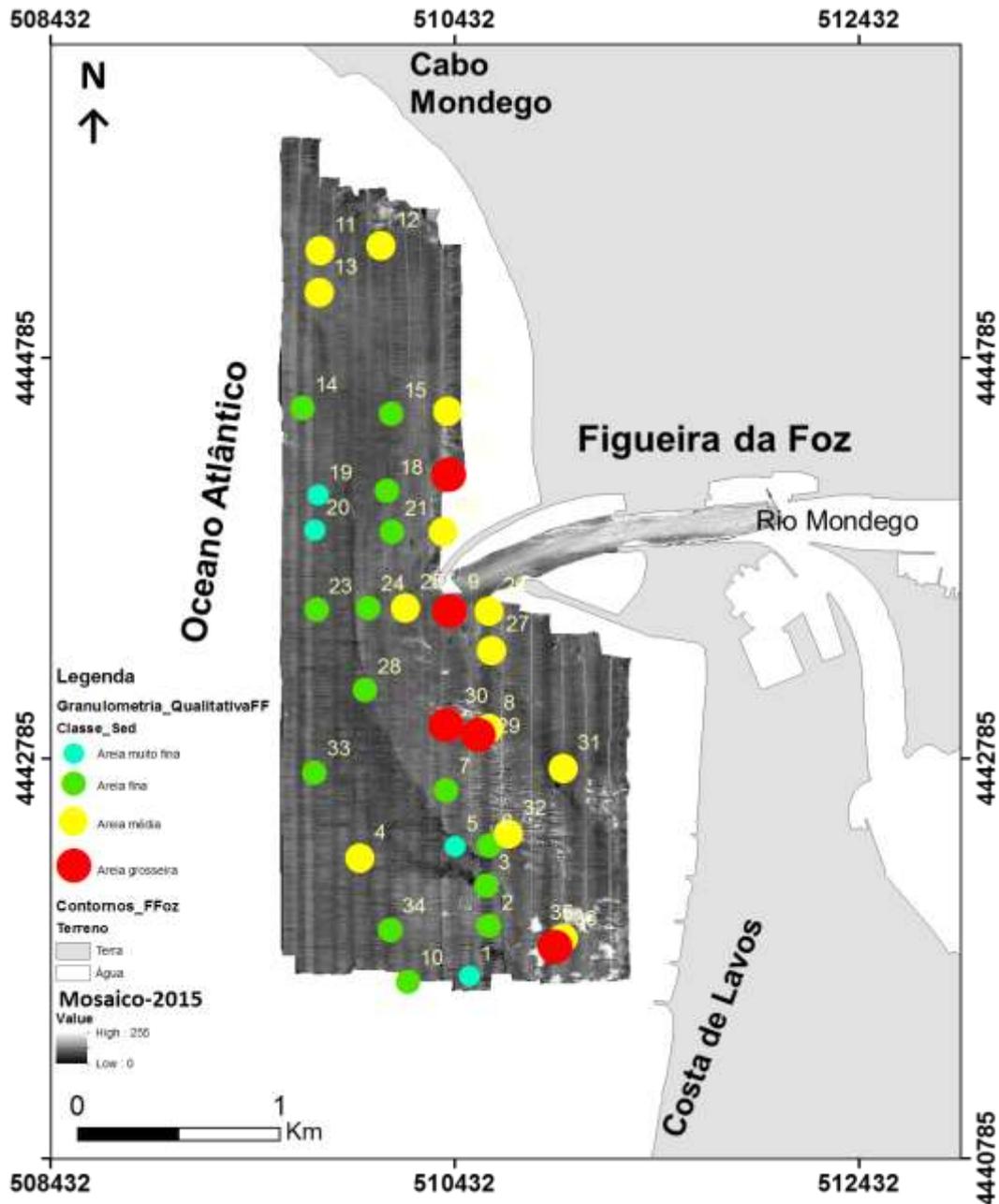


Figura 5.6. Ilustração de resultados granulométricos de amostras pontuais de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz analisados, georreferenciados e interpretados pelo autor deste trabalho, e integrados com o mosaico de dados de sonar de varrimento lateral obtidos na campanha oceanográfica FFoz-2015, e processados por Pinheiro, com. pessoal. Locais com maior retrodispersão no mosaico (zonas brancas e cinza-claro) coincidem com sedimentos mais grosseiros (vermelho e amarelo), e locais com baixa refletividade (cinza-escuro e preto) coincidem com sedimentos mais finos (verde e azul).

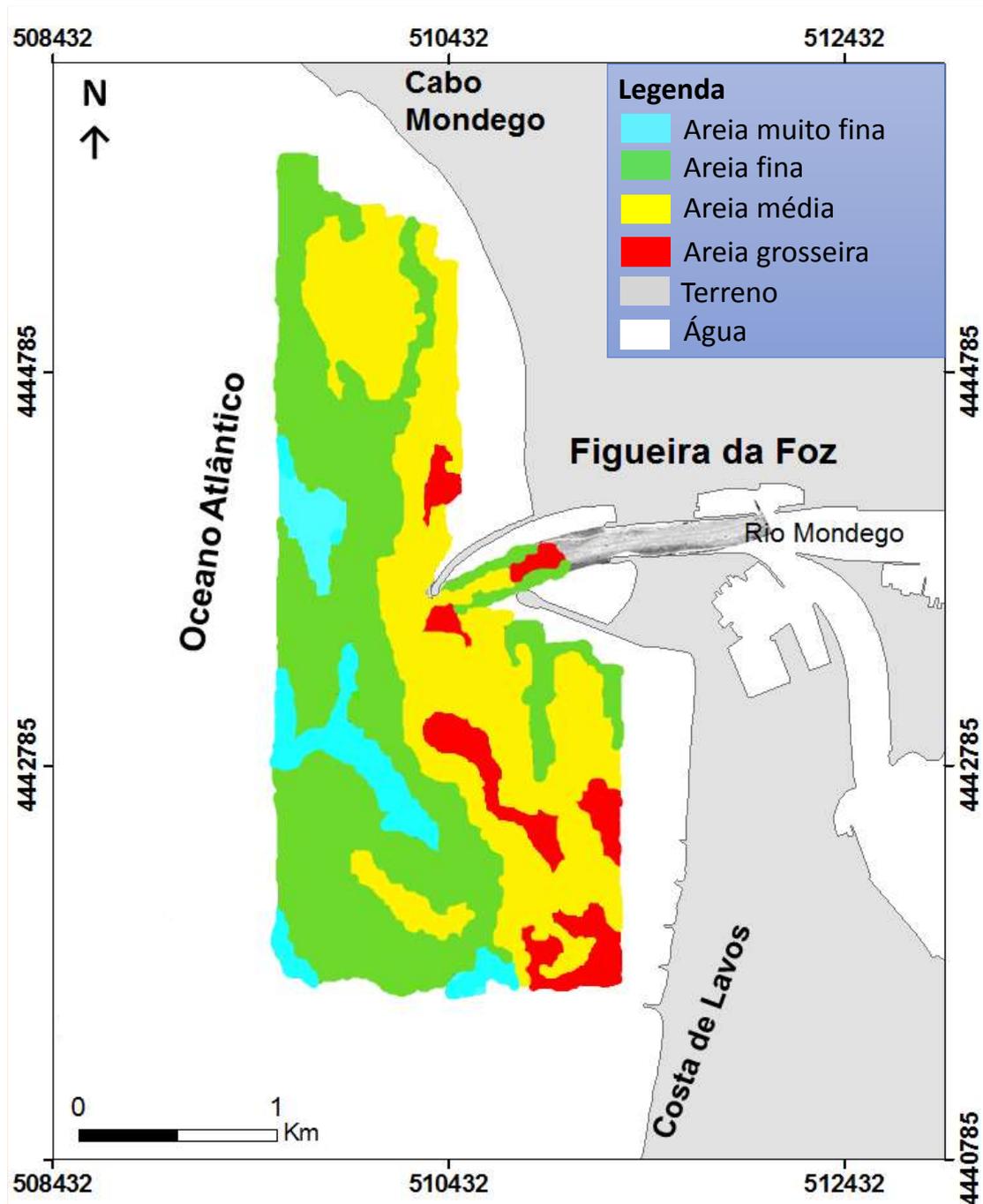


Figura 5.7. Distribuição espacial das 4 classes de sedimentos arenoso na área da embocadura do Porto da Figueira da Foz. Nesta figura, observa-se que a percentagem da cobertura espacial da classe de areia fina é relativamente semelhante a da areia média. Mapa cartografada a partir de dados pontuais de sedimentos e de sonar de varrimento lateral ilustrados na Figura 5.6.

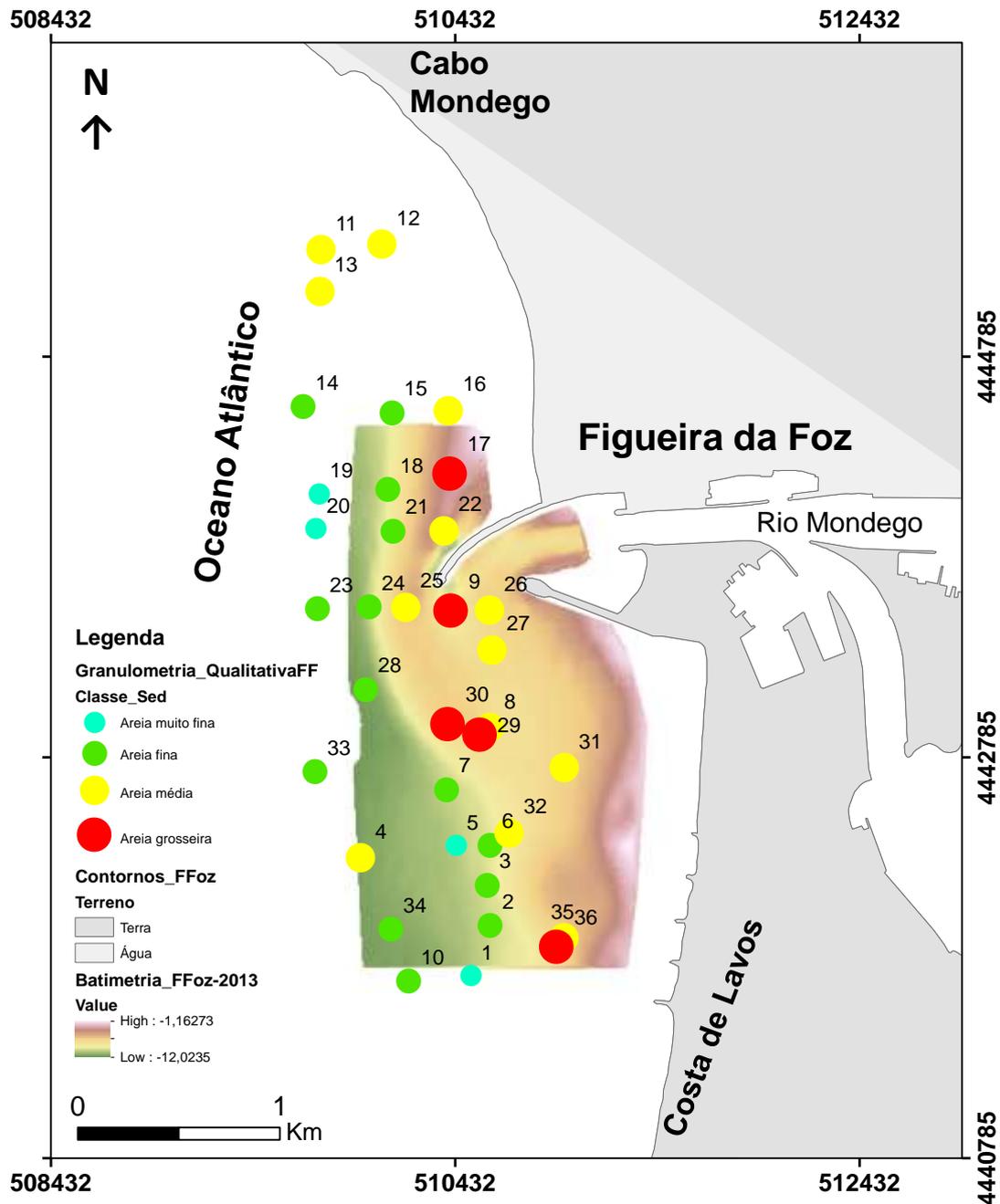


Figura 5.8. Ilustração de resultados granulométricos de amostras pontuais da embocadura do Porto da Figueira da foz integrados com os dados de batimetria FFoz-2013 cedidos pela APAFF S.A para UA. Os sedimentos mais finos encontram-se mais afastados da embocadura e em áreas mais profundas. Os sedimentos grosseiros depositam-se em locais menos profundos e próximos da costa.

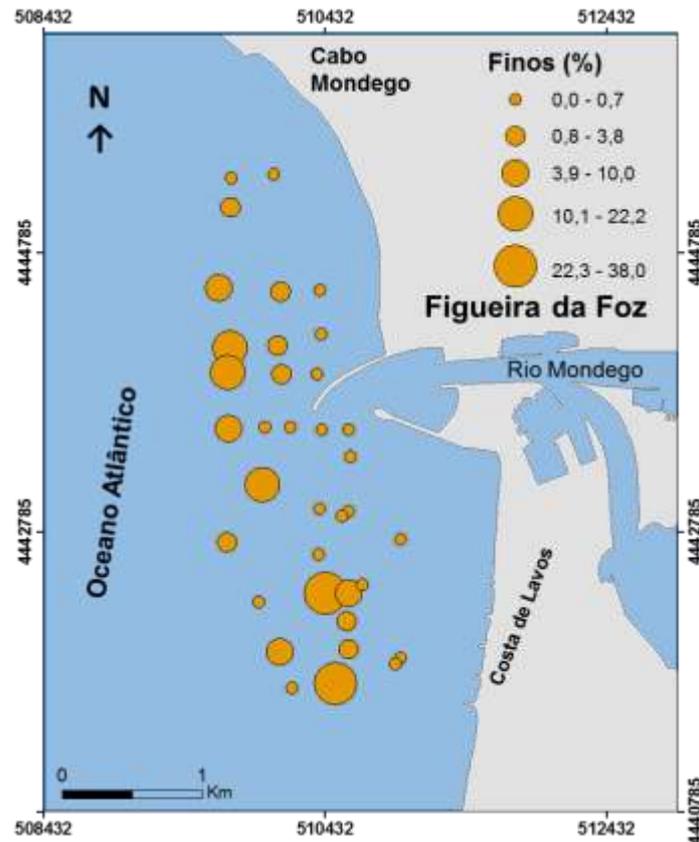


Figura 5.9. Distribuição espacial dos finos (%) na embocadura do Porto da Figueira da Foz. As maiores percentagens encontram-se em locais mais afastadas da embocadura.

## 5.2.1. Características texturais e teores sedimentares por classes de sedimentos

### 5.2.1.1. Areia muito fina

A classe de areia muito fina, identificada pela cor azul (ver as Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 acima ilustradas), e é representada por 4 locais amostrais (Tabela 5.2 e Apêndice1-A1). A amostra FF1 (diâmetro médio, 67,42  $\mu\text{m}$ ), FF5 (diâmetro médio, 80,85  $\mu\text{m}$ ), FF19 (diâmetro médio, 104,6  $\mu\text{m}$ ) e FF20 (diâmetro médio, 104,6  $\mu\text{m}$ ). A FF1 é areia lodosa, com 62 % de teor de areia e 38 % do teor de lodo. É mal calibrada ( $\sigma_I = 1,837\emptyset$ ), fortemente assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,601\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 0,772\emptyset$ ). A mostra FF5 é areia lodosa ligeiramente cascalhenta, com 64,8% de teor de areia, 34,4% de teor de lodo e 0,8% de teor de cascalho. É muito mal calibrada ( $\sigma_I = 2,323\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,132\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 1,038\emptyset$ ). A FF19 é areia lodosa, com 11,8% de teor de areia e 22,2% de teor de lodo. É mal calibrada ( $\sigma_I = 1,489\emptyset$ ), muito finamente assimétrica ( $Sk_I = 0,647\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,439\emptyset$ ). A

FF20 é areia lodosa, com 79,7% de teor de areia e 20,3% de teor de lodo. É mal calibrada, muito finamente assimétrica e muito leptocúrtica ( $K_G = 1,608\emptyset$ ).

Tabela 5.2. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), textura e teores de sedimentos (%) da classe de areia muito fina.

Classe da Areia Muito Fina			
Amostra	Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	Textura	Teores de sedimentos (%)
FF1	67,42	Lodosa	Areia (62) e lodo (38)
FF5	80,85	Lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia (64,8), lodo (34,4) e cascalho (0,8)
FF19	95,70	Lodosa	Areia (77,8) e lodo (22,2)
FF20	104,60	Lodosa	Areia (79,7) e lodo (20,3)

### 5.2.1.2. Areia fina

A classe de areia fina é identificada pela cor verde (ver as Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 acima ilustradas), e é representada por 14 locais amostrais (Tabela 5.3, e Apêndice1-B1, Apêndice1-B2, Apêndice1-B3 e Apêndice1-B4). As suas características sedimentares são descritas a seguir. A FF2 é areia fina ligeiramente cascalhenta (diâmetro médio, 230,2  $\mu\text{m}$ ), com 98,1% de areia, 1,3% de lodo e 0,7% de cascalho. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,798\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,218\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 1,044\emptyset$ ). A FF3 é composta de areia fina (240,4  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teor de areia 98,8% e de lodo 1,2%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,808\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,153\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 0,997\emptyset$ ). A FF6 é composta de areia fina (149,2  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com 94,7% de teor de areia e 5,3% de teor de lodo. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 1,0\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,006\emptyset$ ) e muito platicúrtica ( $K_G = 1,688\emptyset$ ). A FF7 é areia fina (245,4  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia a 100%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,719\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,221\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 0,861\emptyset$ ). A FF10 é areia fina ligeiramente cascalhenta (222,9  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 95,6%, de cascalho 4,4% e de lodo 0,1%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,923\emptyset$ ), fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,485\emptyset$ ) e muito leptocúrtica ( $K_G = 1,827\emptyset$ ). A FF14 é areia lodosa (196,4  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia a 90% e de lodo a 10%. É mal calibrada ( $\sigma_I = 1,101\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,119\emptyset$ ) e muito leptocúrtica ( $K_G = 2,477\emptyset$ ). A FF15 é areia fina (225,5  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 98,7% e de lodo 1,3%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,688\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos

grosseiros ( $Sk_I = -139\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 0,873\emptyset$ ). FF21 é areia fina ligeiramente cascalhenta (177,4  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 97,9%, de cascalho 1,0% e de lodo 1,1%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,522\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,029\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,971\emptyset$ ). A FF23 é areia fina (176,1  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 92,7% e de lodo 7,3%. É mal calibrada ( $\sigma_I = 1,033\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,189\emptyset$ ) e muito leptocúrtica ( $K_G = 1,971\emptyset$ ). A FF24 é areia fina ligeiramente cascalhenta (203,2  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,2%, lodo 0,75 e cascalho 0,1%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,570 \mu\text{m}$ , diâmetro médio), assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,258\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 1,086\emptyset$ ). A FF28 é areia lodosa ligeiramente cascalhenta (147,3  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 84%, lodo 14,6% e de cascalho 1,4%. É mal calibrado ( $\sigma_I = 1,428\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = -0,266\emptyset$ ) e muito leptocúrtica ( $K_G = 1,795\emptyset$ ). A FF33 areia fina ligeiramente cascalhenta (177,2  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores areia 98,3%, lodo 1,3% e cascalho 0,4%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,640\emptyset$ ), assimetria no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,103\emptyset$ ) e muito leptocúrtica ( $K_G = 1,780\emptyset$ ). A FF34 é areia fina (144,7  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 92,9% e de lodo 7,1%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,964\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = -0,270\emptyset$ ) e muito leptocúrtica ( $K_G = 1,628\emptyset$ ).

Tabela 5.3. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), texturas e teores de sedimentares (%) da classe de areia fina.

Classe de Areia Fina			
Amostra	Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	Textura	Teores de sedimentos (%)
FF2	230,2	Ligeiramente cascalhenta	Areia (98,1), lodo (1,3) e cascalho (0,7)
FF3	240,2	Areia	Areia (98,8) e lodo (1,2)
FF6	149,2	Areia	Areia (94,7) e lodo (5,3)
FF7	245,4	Areia	Areia (100)
FF10	222,9	Ligeiramente cascalhenta	Areia (95,6), cascalho (4,4) e lodo (0,1)
FF14	196,4	Lodosa	Areia (90) e lodo (10)
FF15	225,5	Areia	Areia (98,7) e lodo (1,3)
FF18	175,8	Ligeiramente cascalhenta	Areia (95,1), lodo (3,8) e cascalho (1,2)
FF21	177,4	Ligeiramente cascalhenta	Areia (97,9), lodo (1,1) e cascalho (1,0)
FF23	176,1	Areia	Areia (92,7) e lodo (7,3)
FF24	203,2	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,2), lodo (0,7) e cascalho (0,1)
FF28	147,3	Lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia (84), lodo (14,6) e cascalho (1,4)
FF33	177,2	Ligeiramente cascalhenta	Areia (98,3), lodo (1,3) e cascalho (0,4)
FF34	144,7	Areia	Areia (92,9) e lodo (7,1)

**5.2.1.3. Areia média**

A classe de areia fina é identificada pela cor amarela (ver as Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 acima ilustradas), e é representada por 13 locais amostrais (Tabela 5.4, e Apêndice1-C1, Apêndice1-C2, Apêndice1-C3 e Apêndice1-C4). As suas características sedimentares são descritas a seguir. A FF4 é areia média ligeiramente cascalhenta (271,9  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,7% e cascalho 0,3%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,748\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,046\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 0,930\emptyset$ ). A FF8 é areia média (358,4  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teor de areia a 100%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,511\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,085\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,353\emptyset$ ). A FF11 é areia média (387,6  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teor de areia a 100%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,654\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,098\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,308\emptyset$ ). A FF12 possui areia média ligeiramente cascalhenta (456,3  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,6% e cascalho 0,4%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,662\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,124\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 0,806\emptyset$ ). A FF13 apresenta areia média ligeiramente cascalhenta (354,0  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 96,7%, lodo 2,8% e cascalho 0,5%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,704\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,016\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,452\emptyset$ ). A FF16 possui areia média ligeiramente cascalhenta (284,9  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,7% e de cascalho 0,3%. É moderadamente bem calibrado ( $\sigma_I = 0,622\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,207\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 0,828\emptyset$ ). A FF22 é areia média (303,6  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teor de areia 99,8% e lodo 0,2%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,690\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,095\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,187\emptyset$ ). A FF25 possui areia média ligeiramente cascalhenta (313,3  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,9% e 0,1% de cascalho. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,586\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,179\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,175\emptyset$ ). A FF26 apresenta areia média ligeiramente cascalhenta, (320,0  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,4% e cascalho 0,6%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,760\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,034\emptyset$ ) e leptocúrtica ( $K_G = 1,200\emptyset$ ). A FF27 é composta de areia média ligeiramente cascalhenta (288,2  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,3% e cascalho 0,7%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,764\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,032\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 1,065\emptyset$ ). A FF31 é areia média (282,5  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teor de areia 99,8% e

lodo 0,2%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,719\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,080\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 0,940\emptyset$ ). A FF32 é composta de areia média ligeiramente cascalhenta (309,1  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,96% e cascalho 0,04%. É moderadamente bem calibrada ( $\sigma_I = 0,697\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,080\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 1,224\emptyset$ ). A FF35 é areia média ligeiramente cascalhenta (280,7  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,6% e de cascalho 0,4%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,831\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos grosseiros ( $Sk_I = -0,144\emptyset$ ) e platicúrtica ( $K_G = 0,898\emptyset$ ).

Tabela 5.4. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), texturas e teores de sedimentos (%) da classe de areia média.

Classe de Areia Média			
Amostras	Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	Textura	Teores de sedimentos (%)
FF4	271,9	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,7) e cascalho (0,3)
FF8	358,4	Areia	Areia (100)
FF11	387,6	Areia	Areia (100)
FF12	456,3	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,6) e cascalho (0,4)
FF13	354,8	Ligeiramente cascalhenta	Areia (96,7), lodo (2,8) e cascalho (0,5)
FF16	284,9	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,7) e cascalho (0,3)
FF22	303,6	Areia	Areia (99,8) e lodo (0,2)
FF25	313,3	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,9) e cascalho (0,1)
FF26	320,0	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,4) e cascalho (0,6)
FF27	288,2	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,3) e cascalho (0,7)
FF31	282,5	Areia	Areia (99,8) e lodo (0,2)
FF32	309,1	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,96) e cascalho (0,04)
FF35	280,7	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,6) e cascalho (0,4)

#### 5.2.1.4. Areia grosseira

A classe de areia grosseira é identificada pela cor vermelha (ver as Figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 acima ilustradas), e é representada por 5 locais amostrais (Tabela 5.5, e Apêndice1-D1 e Apêndice1-D2). As suas características sedimentares são descritas a seguir. A FF9 apresenta areia grosseira (540,3  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teor de areia a 100%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,822\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,033\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 0,906\emptyset$ ). A FF17 é composta de areia grosseira ligeiramente cascalhenta (525,0  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia e cascalho 95,8 e 4,2%, respetivamente. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,947\emptyset$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,018\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 1,021\emptyset$ ). A FF29 apresenta areia grosseira ligeiramente cascalhenta (582,3  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 99,8% e cascalho 0,2%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,738\emptyset$ ), assimétrica no sentido dos finos ( $Sk_I = 0,101\emptyset$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 1,021\emptyset$ ).

=1,021 $\phi$ ). A FF30 apresenta areia grosseira ligeiramente cascalhenta (565,9  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia e cascalho 99,8 % e 0,2%, respetivamente. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,715\phi$ ), simétrica ( $Sk_I = 0,097\phi$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 0,939, \phi$ ). A FF36 é uma areia cascalhenta (881,2  $\mu\text{m}$ , diâmetro médio), com teores de areia 94,9% e cascalho 5,1%. É moderadamente calibrada ( $\sigma_I = 0,828\phi$ ), simétrica ( $Sk_I = -0,018\phi$ ) e mesocúrtica ( $K_G = 0,952\phi$ ).

Tabela 5.5. Diâmetros médios ( $\mu\text{m}$ ), texturas e teores de sedimentos (%) da classe de areia grosseira

Classe de Areia Grosseira			
Amostras	Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	Textura	Teores de sedimentos (%)
FF9	540,3	Areia	Areia (100)
FF17	525,0	Ligeiramente cascalhenta	Areia (95,8) e cascalho (4,2)
FF29	582,3	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,8) e cascalho (0,2)
FF30	565,9	Ligeiramente cascalhenta	Areia (99,8) e cascalho (0,2)
FF36	881,2	Cascalhenta	Areia (94,9) e cascalho (5,1)

### 5.3. Composição mineralógica dos sedimentos

A mineralogia da fração sedimentar fina (<63  $\mu\text{m}$ ) de 14 amostras de sedimentos foi obtida com base na semiquantificação dos minerais identificados em difractogramas obtidos por DRX, tal como referenciado no capítulo 4. As Figuras 5.10 e 5.11 ilustram as sobreposições de alguns difractogramas escolhidos com base nas abundâncias dos minerais. Os difractogramas individualizados encontram-se ilustrados no Apêndice 4.

Os resultados das análises mineralógicas estão apresentados na Tabela 5.6. Os sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz são compostos principalmente por quartzo (média 54,02  $\pm$  6,81%). Este é o mineral mais abundante na área de estudo e a sua distribuição está sempre próxima da média. Em cerca de 75% destas partículas sedimentares apresentam uma percentagem de quartzo inferior a 54,74% e 25% das partículas apresentam uma percentagem inferior a 49,09%. A amostra com maior quantidade de quartzo é FF20 (70%) e a amostra com menor quantidade deste mineral é FF34 (44,4%). Os filossilicatos marcam presença significativa (média 20,43  $\pm$  7,78%). Em cerca de 75% das amostras estão abaixo dos 25,55% e 25% das amostras apresentam uma percentagem inferior a 11,55%. Os pontos amostrais com maiores quantidades deste tipo de minerais são FF23 (32,2%), FF1 (28,9%) e FF14 (28,2%), e a amostra com a quantidade mais baixa é FF24 (0,70%). A plagioclase (média 10,26  $\pm$  4,79%) e o

feldspato potássico (média  $7,60 \pm 3,02\%$ ) são minerais muito comuns na área de estudo. As amostras com maiores percentagens da plagioclase são FF13 (18,6%) e FF15 (18,2%), e com a menor percentagem é FF5 (~3%). Nas amostras FF24 (11,9%) e FF13 (10,7%) foram encontrados teores mais elevados de feldspato potássico. Os menores teores de plagioclase e feldspato potássico registaram-se na amostra FF5, com 2,99% e 2,26%, respetivamente (Tabela 5.6 e Figura 5.12).

A calcite, embora presente em todas as amostras analisadas (Figura 5.13), é um mineral acessório na área de estudo (máximo 6,34%; média  $3,14 \pm 6,34\%$ ). A percentagem mais elevada da calcite foi encontrada na amostra FF14 (6,3%) e a mais baixa na estação FF13 (0,9%). Foram identificados também outros minerais com ocorrências raras ou menos expressivas, tais como, halite (máximo 3,97%; média  $1,10 \pm 1,05\%$ ), anidrite (máximo 2,07%; média  $1,02 \pm 0,72\%$ ) e siderite (máximo 2,82; média  $0,72 \pm 0,89\%$ ). A pirite, dolomite, magnetite e hematite são minerais vestigiais na área de estudo (Tabela 5.6; ver Tabelas de semiquantificação dos minerais e grupos de minerais no Apêndice 4).

Os mapas de distribuição espacial dos 4 principais minerais e da calcite estão representados nas Figuras 5.13 e 5.11, respetivamente. A plagioclase, feldspato potássio e calcite apresentam valores altos próximo da embocadura do Porto da Figueira de Foz. O teor de filossilicatos aumentam em estações mais distantes da embocadura, se bem que pareça igualmente haver um ligeiro aumento para sul. O quartzo mostra-se não muito variável na área de estudo.

Tabela 5.6. Principais minerais (%) da fração <63  $\mu\text{m}$  de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira de Foz. P<sub>75</sub> corresponde ao 75º Percentil, P<sub>25</sub> corresponde ao 25º Percentil e DP corresponde ao desvio padrão em relação a média

Minerais /Grupos de minerais (%)	Máximo	P <sub>75</sub>	Mínimo	P <sub>25</sub>	Média	Mediana	DP
Quartzo	70,0	54,74	44,43	49,07	54,02	54,10	6,81
Filossilicatos	32,2	25,55	0,70	15,55	20,43	21,37	7,78
Plagioclase	18,6	13,38	2,99	7,45	10,26	9,56	4,79
Feldspato K	11,9	10,46	2,26	5,46	7,60	7,45	3,02
Calcite	6,3	4,11	0,93	1,96	3,14	2,57	1,54
Halite	4,0	1,24	0,00	0,48	1,10	0,65	1,05
Anidrite	2,1	1,45	0,00	0,25	1,02	1,21	0,72
Siderite	2,8	1,15	0,00	0,00	0,72	0,36	0,89
Pirite	4,0	0,38	0,00	0,00	0,49	0,00	1,04
Dolomite	3,1	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,81
Magnetite	1,4	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,38
Hematite	0,9	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,22

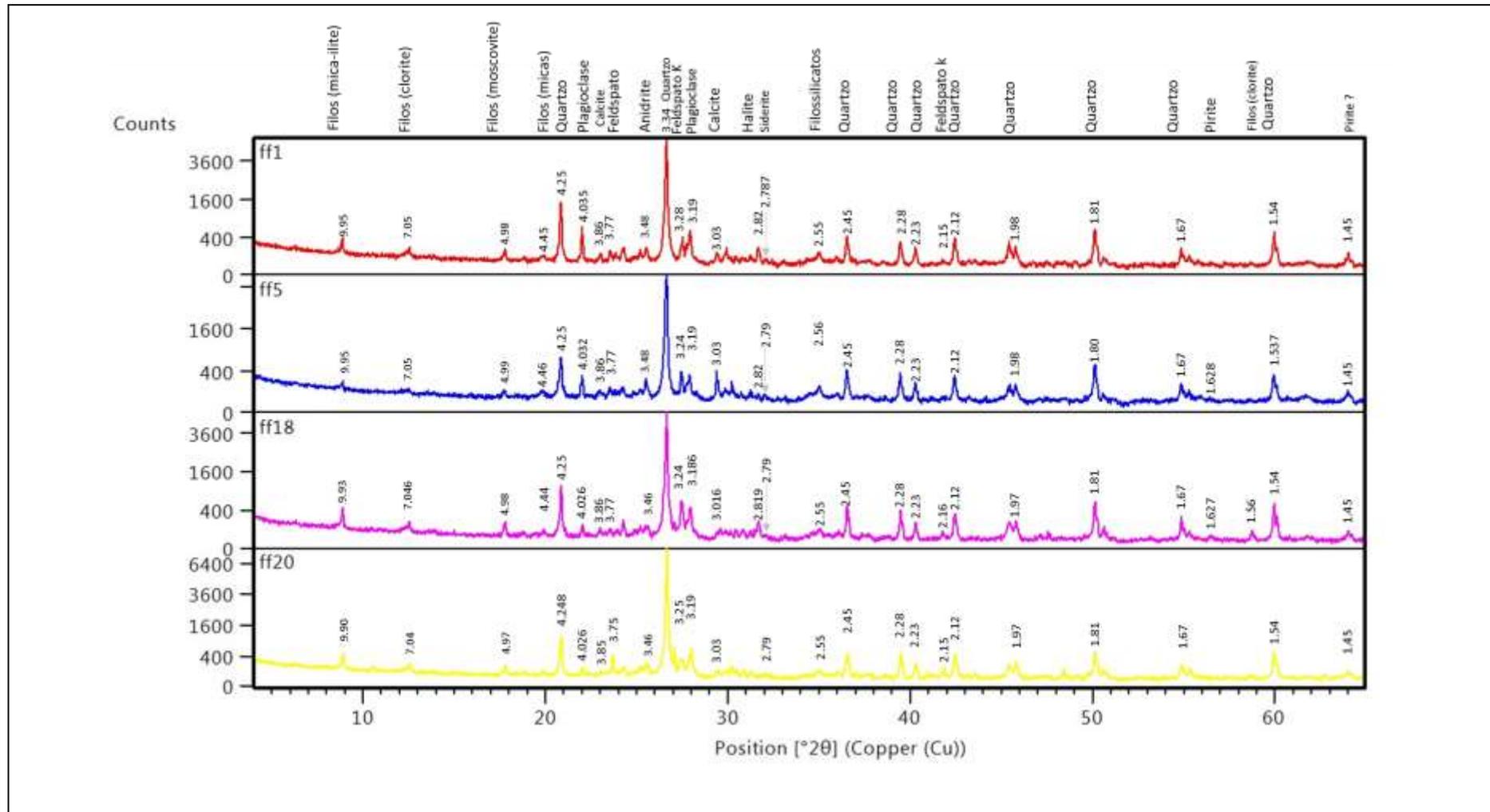


Figura 5.10. Ilustração da sobreposição dos difractogramas das amostras FF20, FF18, FF5 e FF1 (fração sedimentar <math>< 63 \mu\text{m}</math> da embocadura do Porto da Figueira da Foz) obtidos de análise mineralógica por DRX

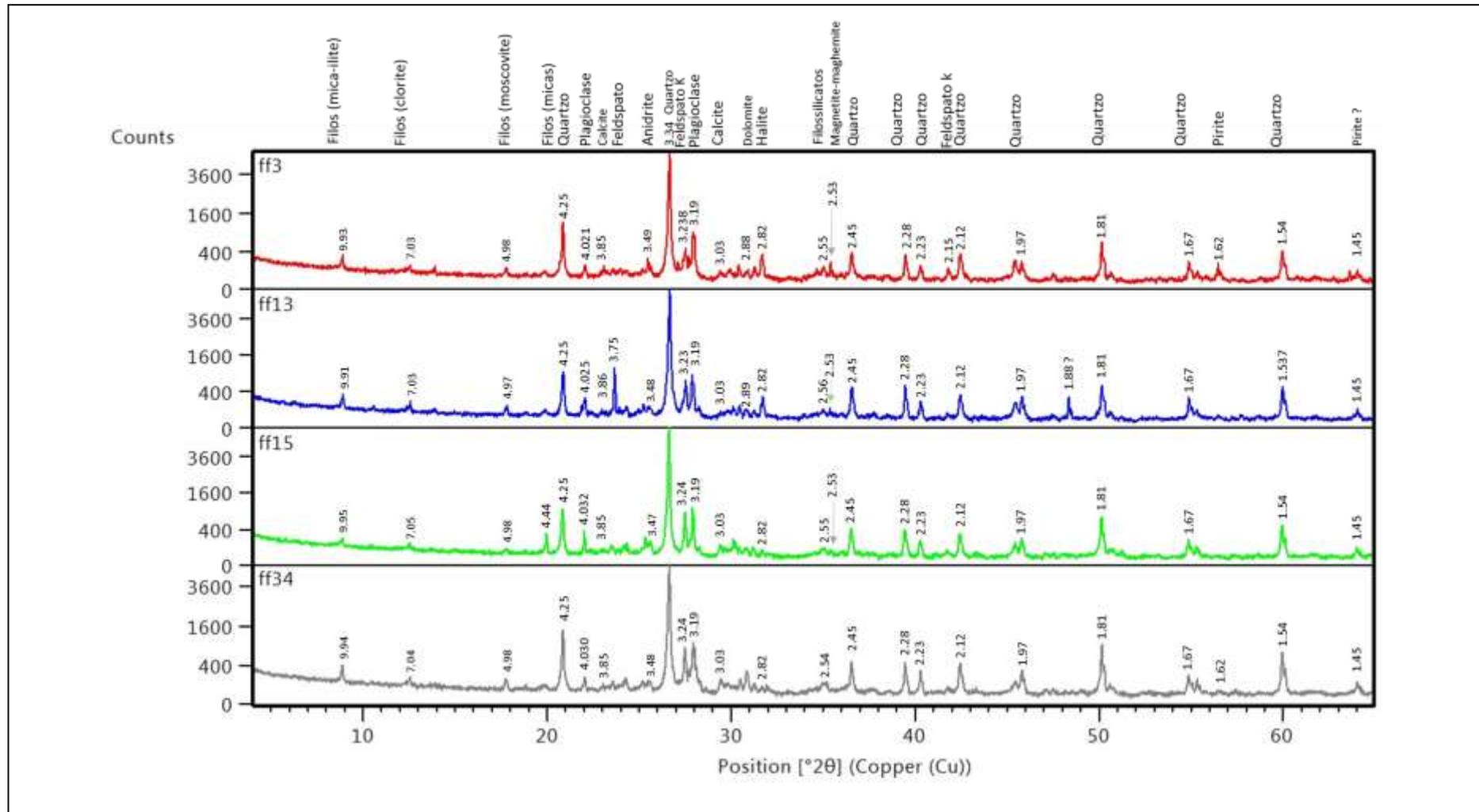


Figura 5.11. Ilustração da sobreposição dos difractogramas das amostras FF24, FF15, FF13 e FF3 (fração sedimentar <63 µm da embocadura do Porto da Figueira da Foz) obtidos de análise mineralógica por DRX.

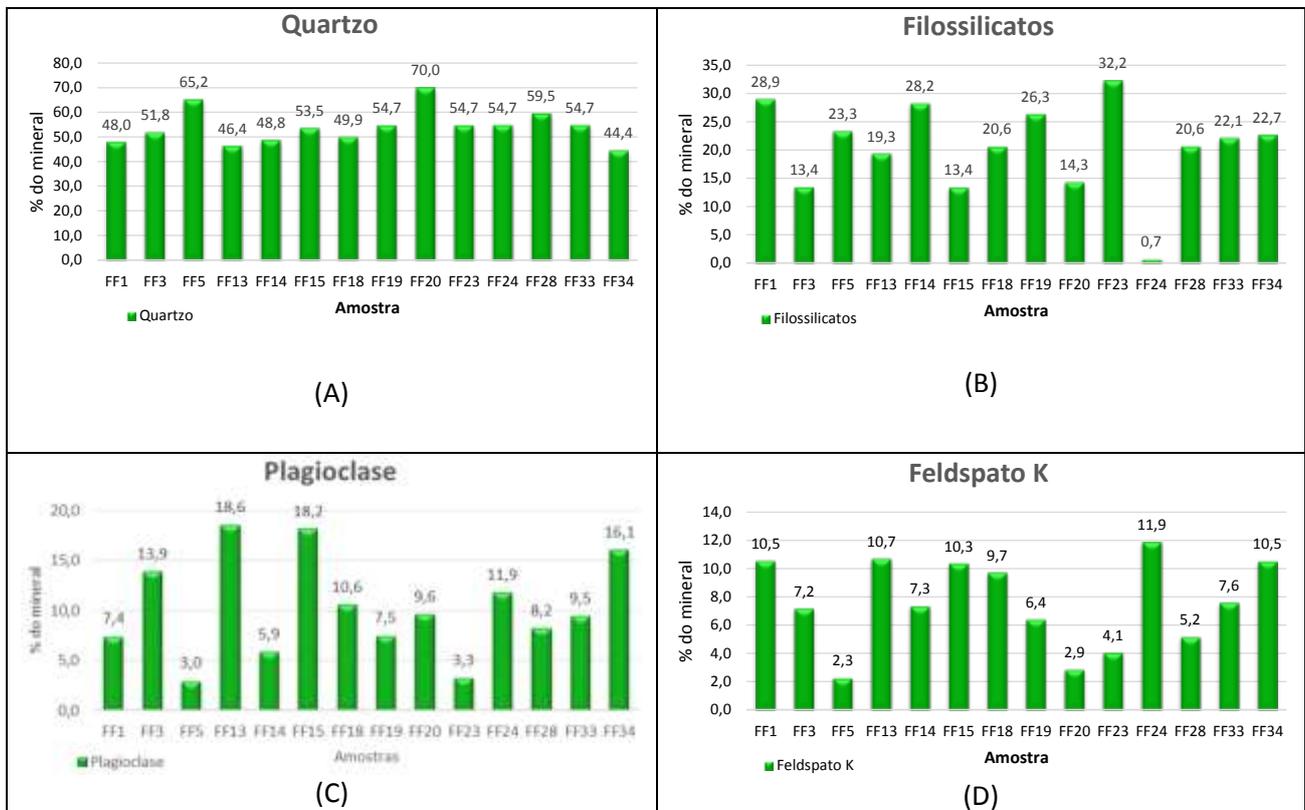


Figura 5.12. Distribuição percentual dos principais 4 minerais nas amostras analisadas: (A): quartzo; (B): filossilicatos; (C): plagioclase e (D): feldspato potássico.

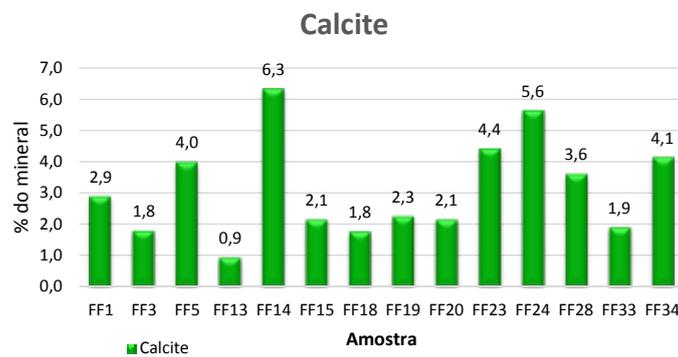


Figura 5.13. Distribuição do mineral calcite (%) nas amostras analisada

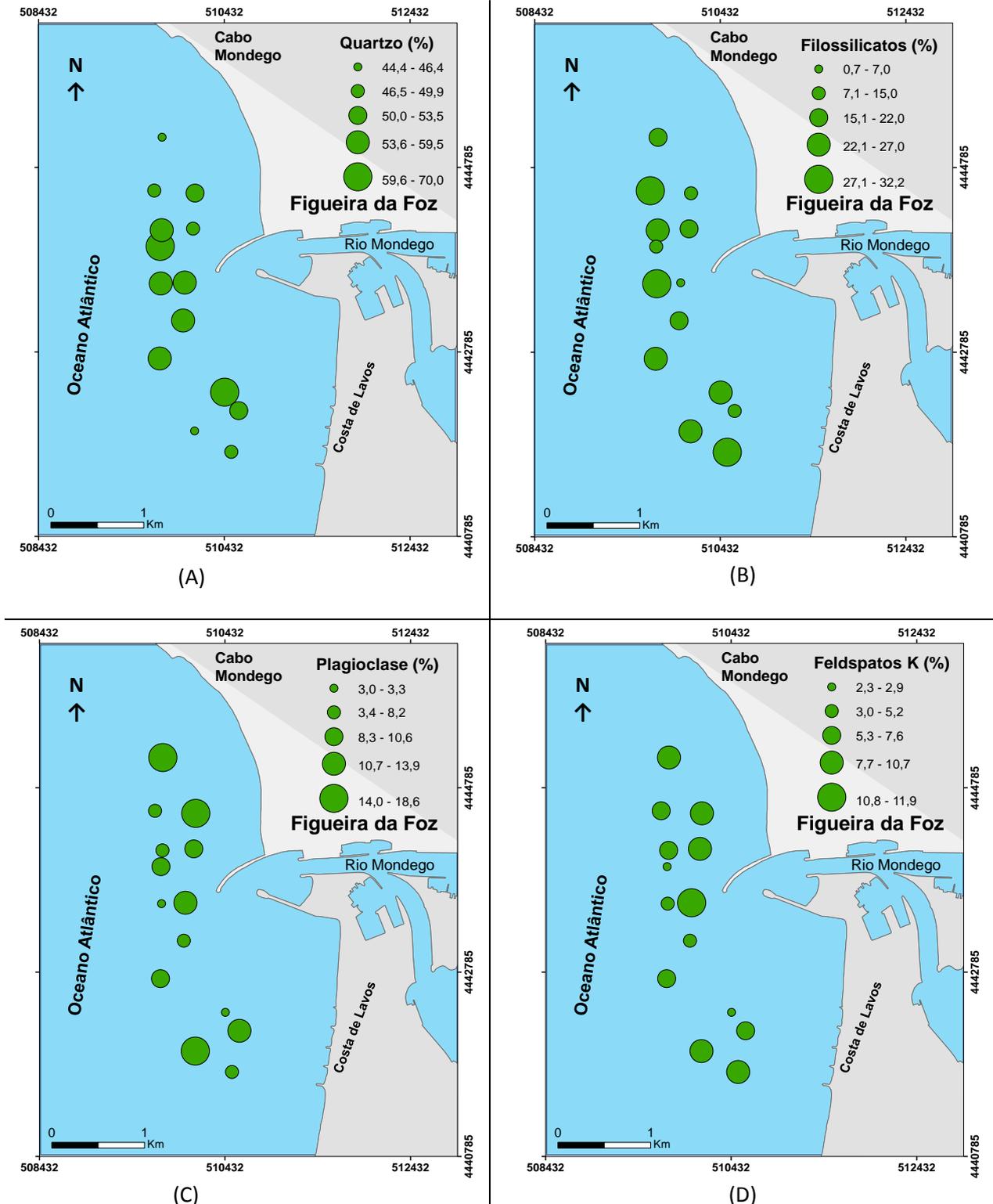


Figura 5.14. Distribuição espacial de principais minerais (%) na área de estudo: (A) Quartzo, (B) Filossilicatos, (C) Plagioclase e Feldspato potássico.

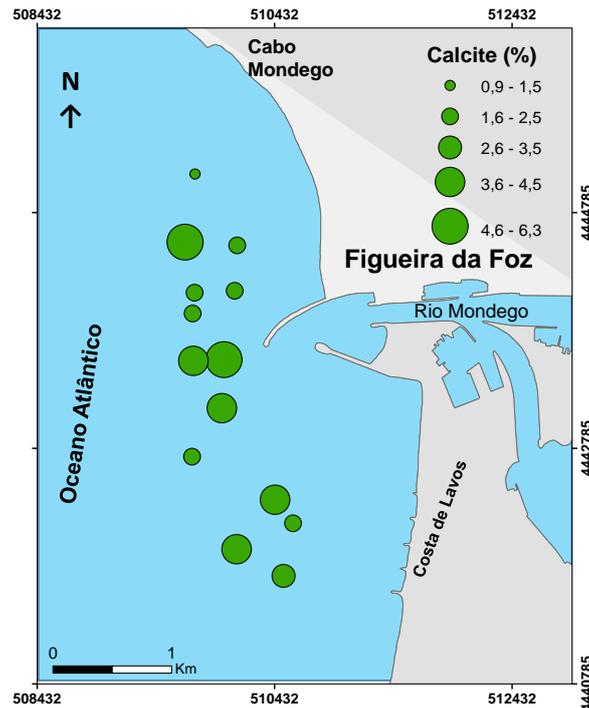


Figura 5.15. Distribuição espacial do mineral calcite (%) na embocadura do Porto da Figueira da Foz

#### 5.4. Resultados de análise geoquímica

Fazem parte os resultados geoquímicos os teores (%) de matéria orgânica total (MOT) e carbonatos de 36 amostras da fração sedimentar <2 mm, e os teores metais de 14 amostras da fração sedimentar <63  $\mu\text{m}$  apresentados em dois grupos: elementos maiores (em %; convertidos a partir de equivalência 1% = 10000 mg/kg) e elementos traços (em mg/kg). As Tabelas 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 mostram os resultados das respetivas análises (ver no Apêndice 5 as Tabelas que contêm quantidades de carbonatos, carbono orgânica total, elementos maiores e traços das amostras analisadas).

##### 5.4.1. Teores de matéria orgânica total

Os teores de matéria orgânica (MOT) são médios nas amostras estudadas (média,  $3,21 \pm 2,42\%$ ). A amostra com teor mais elevado de matéria orgânica é FF5 (12,82%) e com menor teor é FF23 (0,89%), correspondendo, respetivamente, a sedimentos com alto e muito baixo teor de matéria orgânica (Tabela 5.7 e Figura 5.16). Na figura 5.17 é mostrada a distribuição espacial de teores de matéria orgânica ao longo da embocadura do Porto da Figueira da Foz. A escala quantitativa mostrada na Figura 5.17 segue o

critério de classificação proposto por Moreira (2013). Observa-se desta figura que os teores médios encontram-se distribuídos em quase toda extensão da área de estudo e os teores altos estão afastados da embocadura.

Tabela 5.7. Teores de matéria orgânica (%) da fração sedimentar <2 mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz

Matéria Orgânica Total (%)	Máximo	P <sub>75</sub>	Mínimo	P <sub>25</sub>	Média	Mediana	DP
	12,82	3,33	0,89	3,33	3,21	2,37	2,42

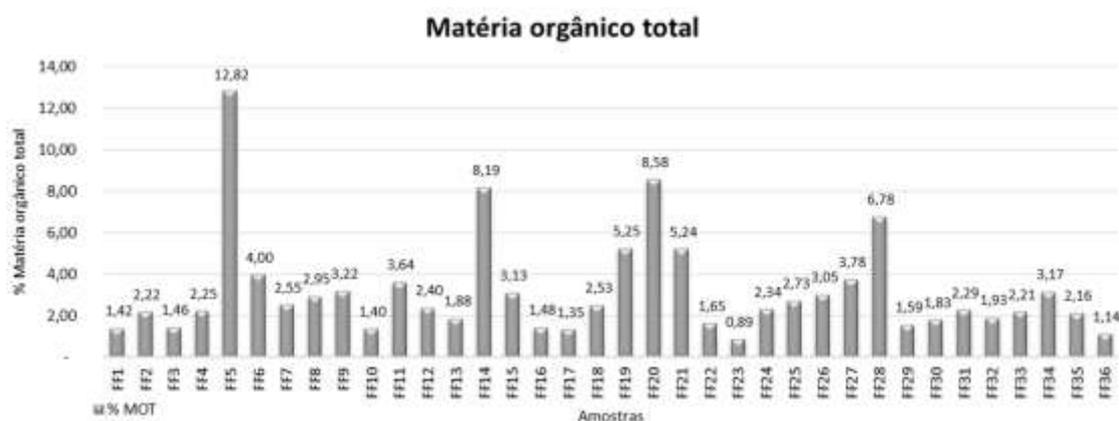


Figura 5.16. Distribuição de teores da matéria orgânica total (MO, %) por amostras analisadas

#### 5.4.2. Teores de carbonatos

Os teores de carbonatos são baixos nas amostras estudadas (média,  $3,19 \pm 1,57\%$ ). A amostra com teor de carbonatos mais elevado é FF24 (7,03%) e com menor teor é FF36 (1,20%), correspondendo, respetivamente, a sedimentos moderadamente carbonatados e a pobremente carbonatados (Tabela 5.8 e Figura 5.18). Na figura 5.19 é mostrada a distribuição espacial de teores de carbonatos ao longo da embocadura do Porto da Figueira da Foz. A escala quantitativa mostrada na Figura 5.19 segue o critério de classificação de carbonatos proposto por Moreira (2013). Observa-se desta figura que os teores baixos encontram-se em quase toda extensão da embocadura, enquanto os teores moderadamente carbonatados encontram-se afastados da embocadura.

Tabela 5.8. Teores de Carbonatos (%) da fração sedimentar <2 mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz.

Carbonatos (%)	Máximo	P <sub>75</sub>	Mínimo	P <sub>25</sub>	Média	Mediana	DP
	7,03	3,79	1,20	2,01	3,19	2,81	1,57

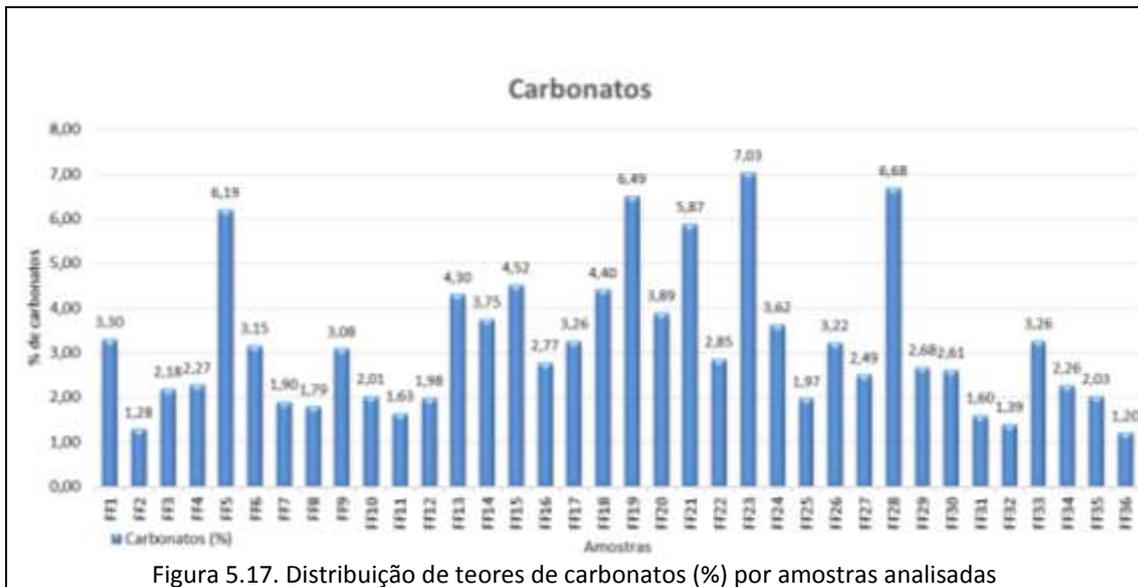


Figura 5.17. Distribuição de teores de carbonatos (%) por amostras analisadas

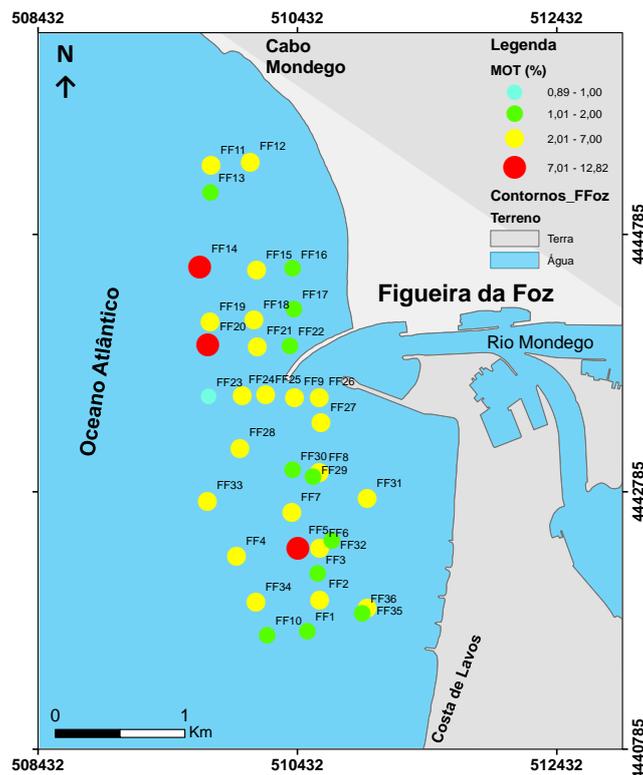


Figura 5.18. Distribuição espacial dos teores de matéria orgânica (MOT, %) da fração sedimentar <2mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz. A escala quantitativa segue o critério de classificação de matéria orgânica proposto por Moreira (2013). A cor verde-clara representa nível muito baixo, verde representa nível baixo, amarelo representa nível médio e vermelho representa nível alto.

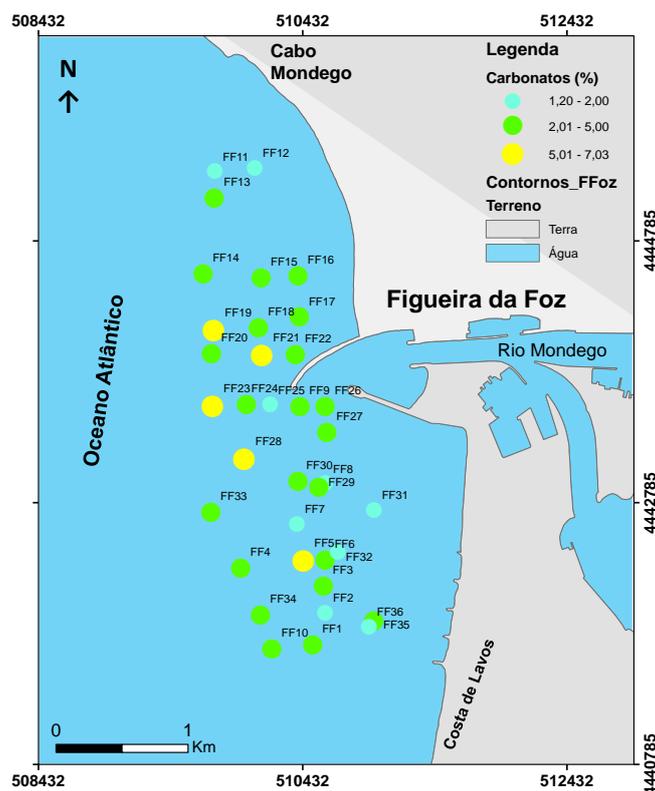


Figura 5.19. Distribuição espacial dos teores de carbonatos (%) da fração sedimentar <2mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz. A escala quantitativa segue o critério de classificação de carbonatos proposto por Moreira (2013). A cor verde-clara representa nível pobremente carbonatada, verde representa pouco carbonatada e amarelo representa nível moderadamente carbonatada

### 5.4.3. Teores de Metais

Os elementos maiores detetados e apresentados na Tabela 5.9 por ordem decrescente de percentagem são: Ca (média 1,55%  $\pm$ 0,37), Fe (média 1,06%  $\pm$ 0,24), Al (média 0,84%  $\pm$ 0,19), Na (média 0,77%  $\pm$ 0,84), Mg (média 0,52%  $\pm$ 0,13) e K (média 0,22%  $\pm$ 0,06). O cálcio atinge concentrações mais elevadas na estação FF24 (1,16%). O ferro, alumínio e potássio são mais frequentes na estação FF5, com os máximos de 1,61%, 1,22% e 0,32%, respetivamente. Sódio e magnésio apresentam seus máximos nas estações FF13 (2,59%) e FF3 (0,80%), respetivamente. Os valores mínimos de ferro, magnésio e potássio encontram-se na estação FF33, e os de cálcio, alumínio e sódio foram encontrados nas estações FF14 (0,96%), FF24 (0,52%) e FF20 (0,01%). A distribuição percentual destes elementos nas amostras analisadas está representada na Figura 5.20 (ver as concentrações dos elementos maiores por amostra analisadas no apêndice 5).

Tabela 5.9. Máximos, mínimos, médias, mediana, percentis e desvios padrão das concentrações de elementos maiores (%) da fração sedimentar &lt;63 µm da embocadura do Porto da Figueira da Foz.

Elementos maiores (%)	Máximo	P <sub>75</sub>	Mínimo	P <sub>25</sub>	Média	Mediana	DP
<b>Ca</b>	2,16	1,79	0,96	1,20	1,55	1,70	0,37
<b>Fe</b>	1,61	1,21	0,70	0,86	1,06	1,08	0,24
<b>Al</b>	1,22	0,94	0,52	0,67	0,84	0,87	0,19
<b>Na</b>	2,59	1,19	0,01	0,22	0,77	0,31	0,84
<b>Mg</b>	0,80	0,62	0,32	0,40	0,52	0,52	0,13
<b>K</b>	0,32	0,25	0,12	0,17	0,22	0,22	0,06

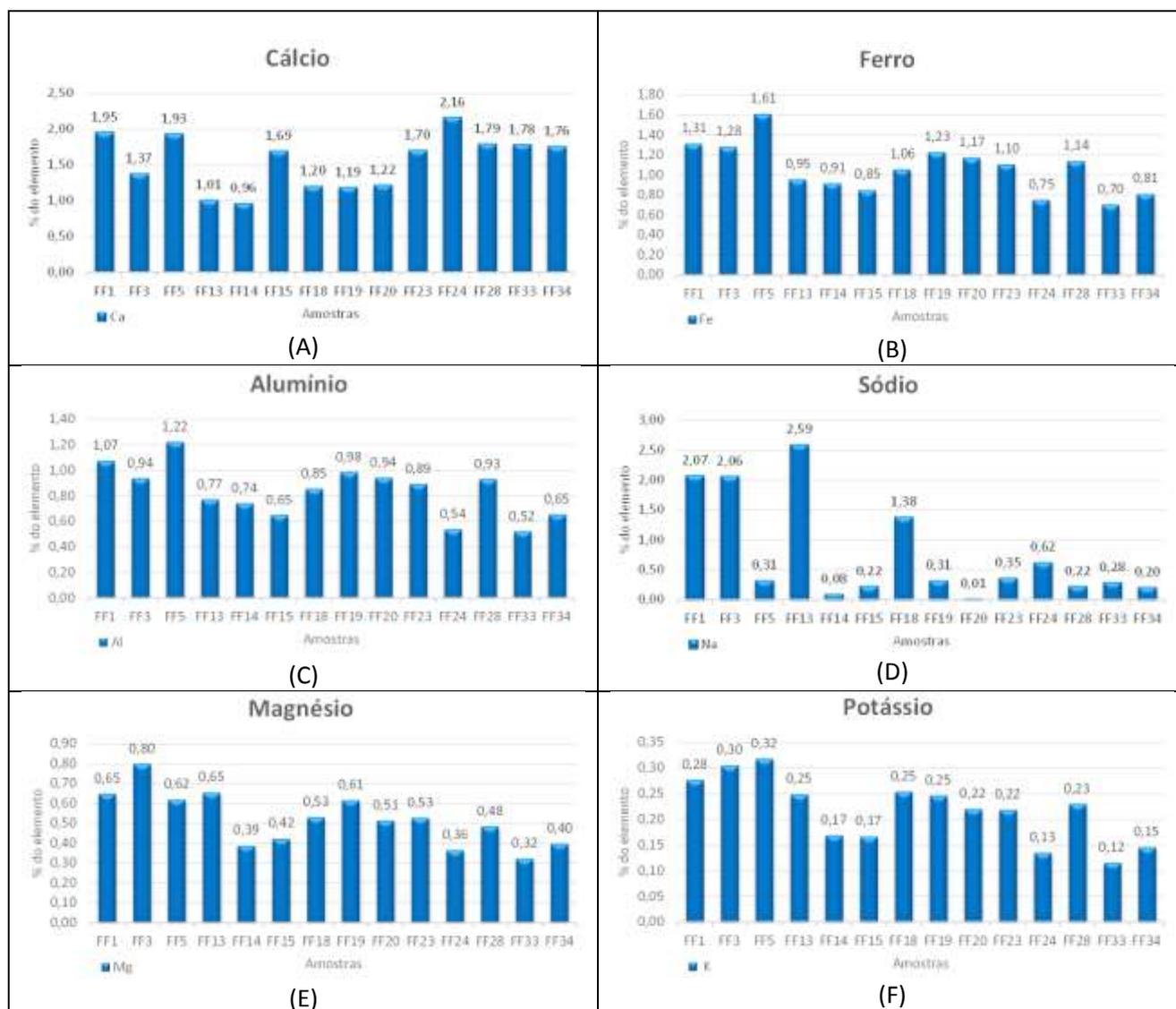


Figura 5.20. Distribuição de teores de elementos maiores (%) nos locais estudados

Os mapas de distribuição espacial dos elementos maiores estão ilustrados na Figuras 5.21 e 5.22. De um modo geral, as concentrações destes elementos químicos

umentam à medida que as estações de amostragem se vão distanciando da embocadura do Porto da Figueira de Foz, particularmente, em direção à Costa de Lavos.

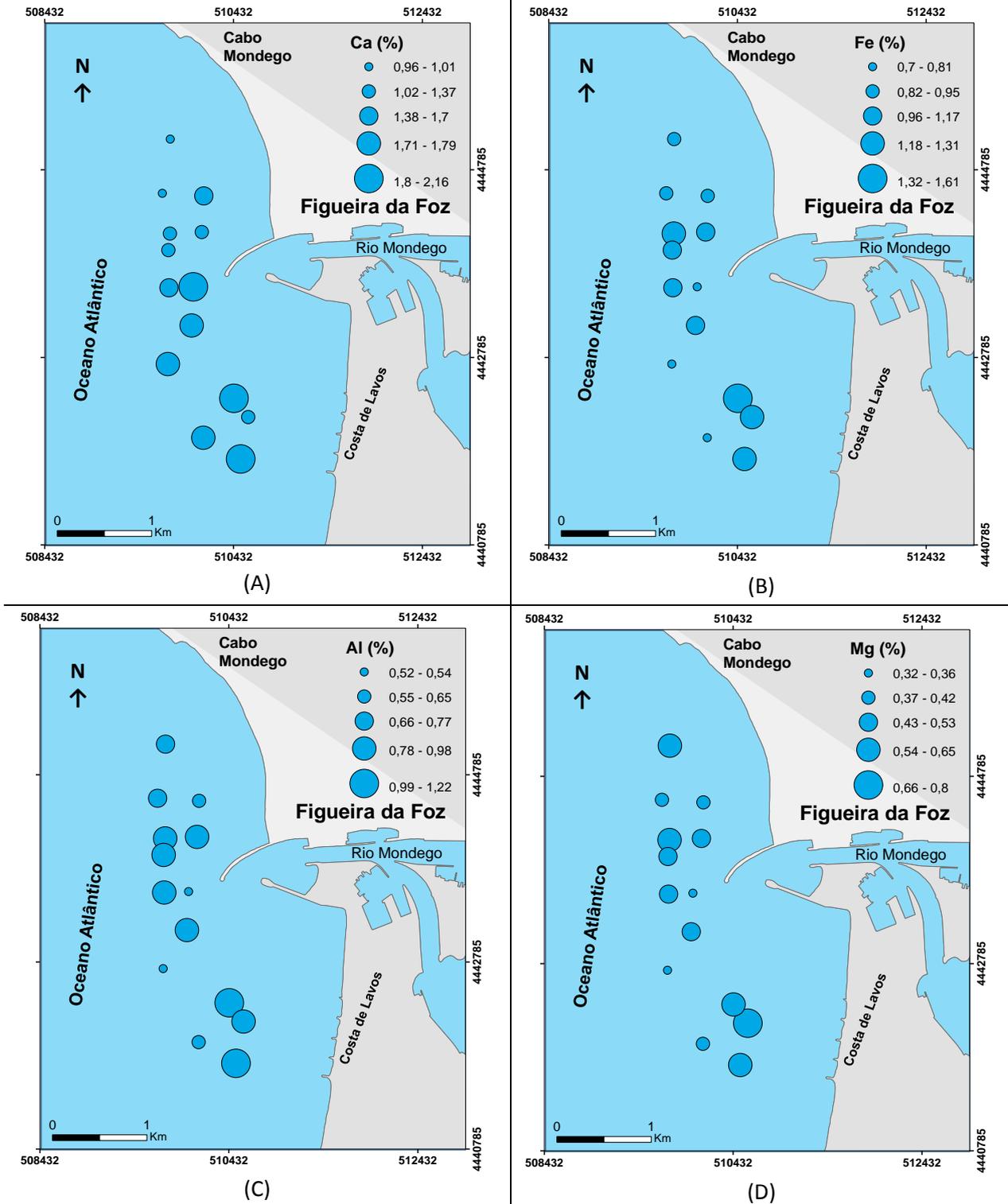


Figura 5.21. Distribuição espacial dos elementos maiores (%) da fração sedimentar <63µm nas estações estudadas na embocadura do Porto da Figueira de Foz: (A) Cálcio, (B) Ferro, (C) Alumínio e (D) Magnésio.

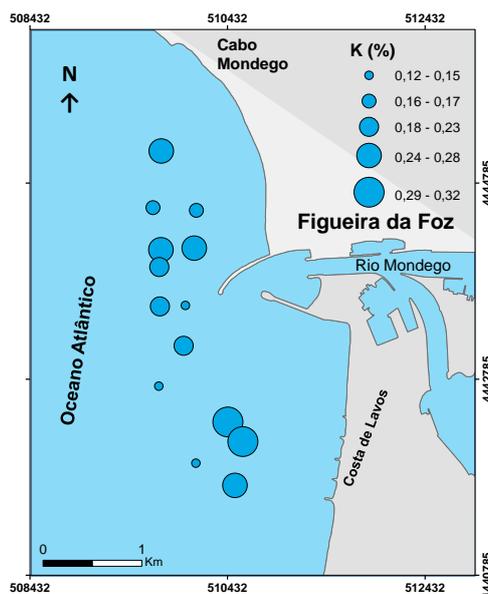


Figura 5.22. Distribuição espacial de Potássio (em %) na fração sedimentar <math><63 \mu\text{m}</math> nas estações estudadas na embocadura do Porto da Figueira da Foz

Nas amostras analisadas, os elementos traços detetados apresentam uma grande variabilidade em termos composicional e nas respetivas concentrações. Assim, por ordem decrescente em  $\text{mgkg}^{-1}$  (Tabela 5.10 e Figura 5.23), os sedimentos dos estudados contêm Mn (Máximo 152,48; média  $108,14 \pm 32,72$ ), Zn (Máximo 82,99; média  $54,08 \pm 17,67$ ), Ba (Máximo 27,51; média  $19,99 \pm 6,03$ ), Cr (Máximo 28,05; média  $17,32 \pm 6,08$ ), V (Máximo 21,15; média  $13,46 \pm 4,44$ ) e Ni (Máximo 16,97; média  $11,61 \pm 3,50$ ), Pb (Máximo 14,26; média  $9,96 \pm 2,78$ ), As (Máximo 12,89; média  $9,49 \pm 2,67$ ), Cu (Máximo 13,14; média  $7,32 \pm 2,55$ ), Cd (Máximo 11,48; média  $3,49 \pm 3,24$ ), Co (Máximo 4,82; média  $3,29 \pm 1,06$ ), U (Máximo 2,06; média  $1,46 \pm 0,46$ ), Mo (Máximo 1,14; média  $0,78 \pm 0,22$ ), Tl (Máximo 0,22; média  $0,11 \pm 0,22$ ) e Ag (Máximo 0,18; média  $0,07 \pm 0,04$ ). Embora que estejam presentes em quase todas as amostras, estes elementos apresentam concentrações mais elevadas nas amostras FF3, FF5, FF1, FF20, FF19 e FF13. No entanto, o cádmio tem concentrações mais altas nas amostras FF18 e FF24. (Figura 5.24). As concentrações de Be são inferiores ao limite de deteção do equipamento (ver as concentrações dos elementos traços por amostra analisada no Apêndice 5). Nas Figuras 5.25 e 5.26 são mostrados mapas de distribuição espacial dos elementos traços Zn, Cr, V, As e Cd, respetivamente, selecionados pelas suas distribuições semelhantes e pela correlação existente entre ambos. O Cádmio foi selecionado por apresentar valores de enriquecimento em todas as amostras. De um modo geral, a distribuição destes

elementos assemelha-se à distribuição dos elementos maiores. A sua concentração aumenta à medida que as estações se vão distanciando da embocadura, particularmente, em direção à Costa de Lavos. No entanto, o Cd tende a aumentar em direção ao Cabo Mondego (Figura 5.26).

Tabela 5.10. Os máximos, mínimos, percentis, média, mediana e desvios padrão (DP) das concentrações de elementos traços (%) da fração sedimentar <63 µm da embocadura do Porto da Figueira da Foz.

Elementos traços (mgkg <sup>-1</sup> )	Máximo	P <sub>75</sub>	Mínimo	P <sub>25</sub>	Média	Mediana	DP
Manganês	152,5	120,5	73,7	90,5	108,1	110,4	32,7
Zinco	83,0	60,5	32,9	40,6	54,1	54,6	17,7
Bário	27,5	22,2	12,2	17,6	20,0	19,9	6,0
Crómio	28,1	20,8	11,6	12,9	17,3	16,7	6,1
Vanádio	21,1	15,2	9,2	10,8	13,5	13,7	4,4
Níquel	17,0	12,7	8,3	9,2	11,6	11,6	3,5
Chumbo	14,3	10,3	7,0	8,3	10,0	9,6	2,8
Arsénio	12,9	9,9	7,8	8,8	9,5	9,4	2,7
Cobre	13,1	7,7	4,9	5,1	7,3	6,5	2,5
Cádmio	11,5	5,5	0,2	1,3	3,5	2,5	3,2
Cobalto	4,8	3,8	2,1	2,7	3,3	3,4	1,1
Urânio	2,1	1,7	1,1	1,2	1,5	1,4	0,5
Molibdénio	1,1	1,0	0,6	0,6	0,8	0,7	0,2
Tálio	0,2	0,2	0,04	0,1	0,1	0,1	0,1
Prata	0,2	0,1	0,03	0,04	0,1	0,1	0,04

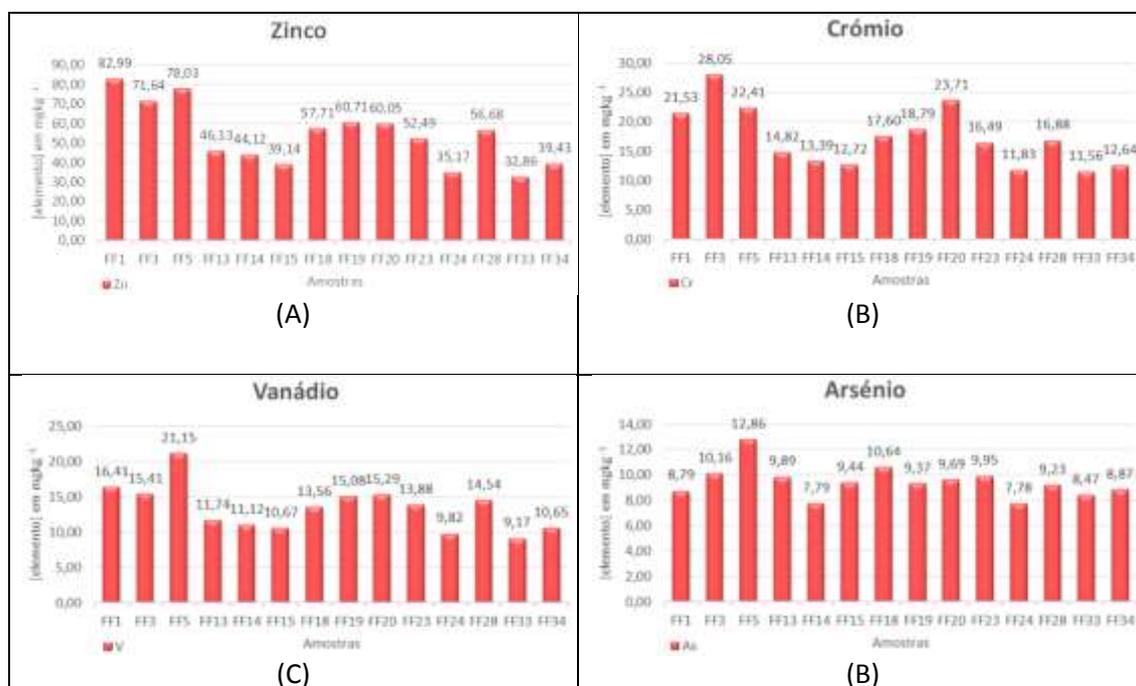


Figura 5.23. Distribuição de teores de alguns elementos traços (mgkg<sup>-1</sup>) por amostras analisadas. (A) Zinco, (B) Crómio, (C) Vanádio e (D) Arsénio.

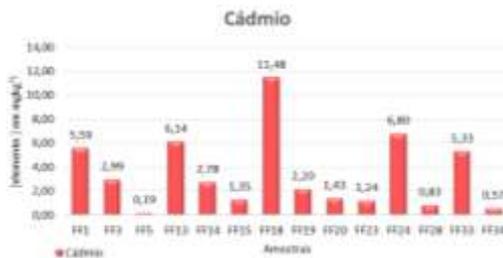


Figura 5.24. Distribuição de teores de Cádmio ( $\text{mgkg}^{-1}$ ) por amostras analisadas

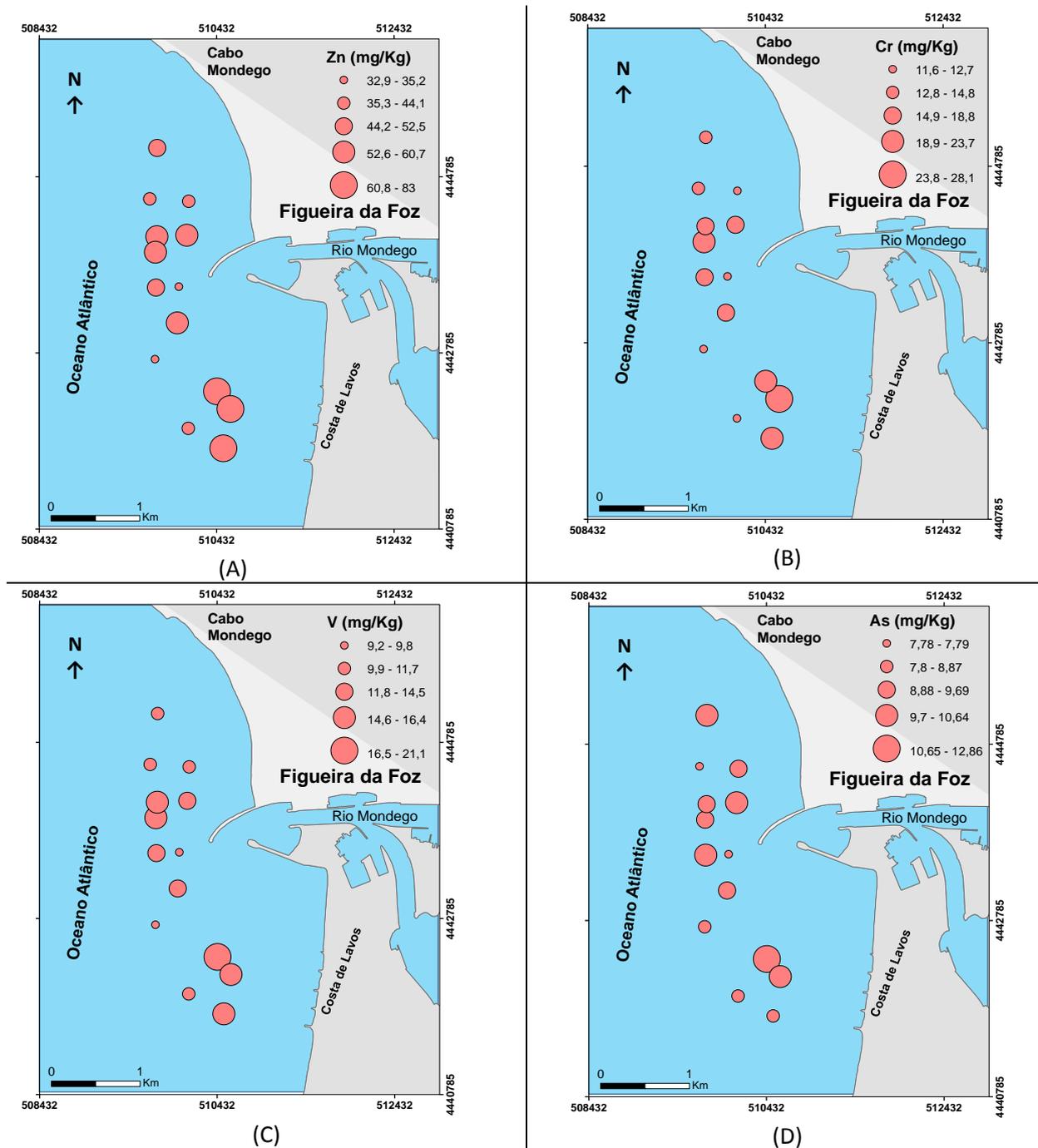


Figura 5.25. Distribuição espacial dos elementos traços (em  $\text{mgkg}^{-1}$ ) da fração sedimentar  $<63\mu\text{m}$  na embocadura do Porto da Figueira da Foz: (A) Zinco, (B) Crómio, (C) Vanádio e (D) Arsénio.

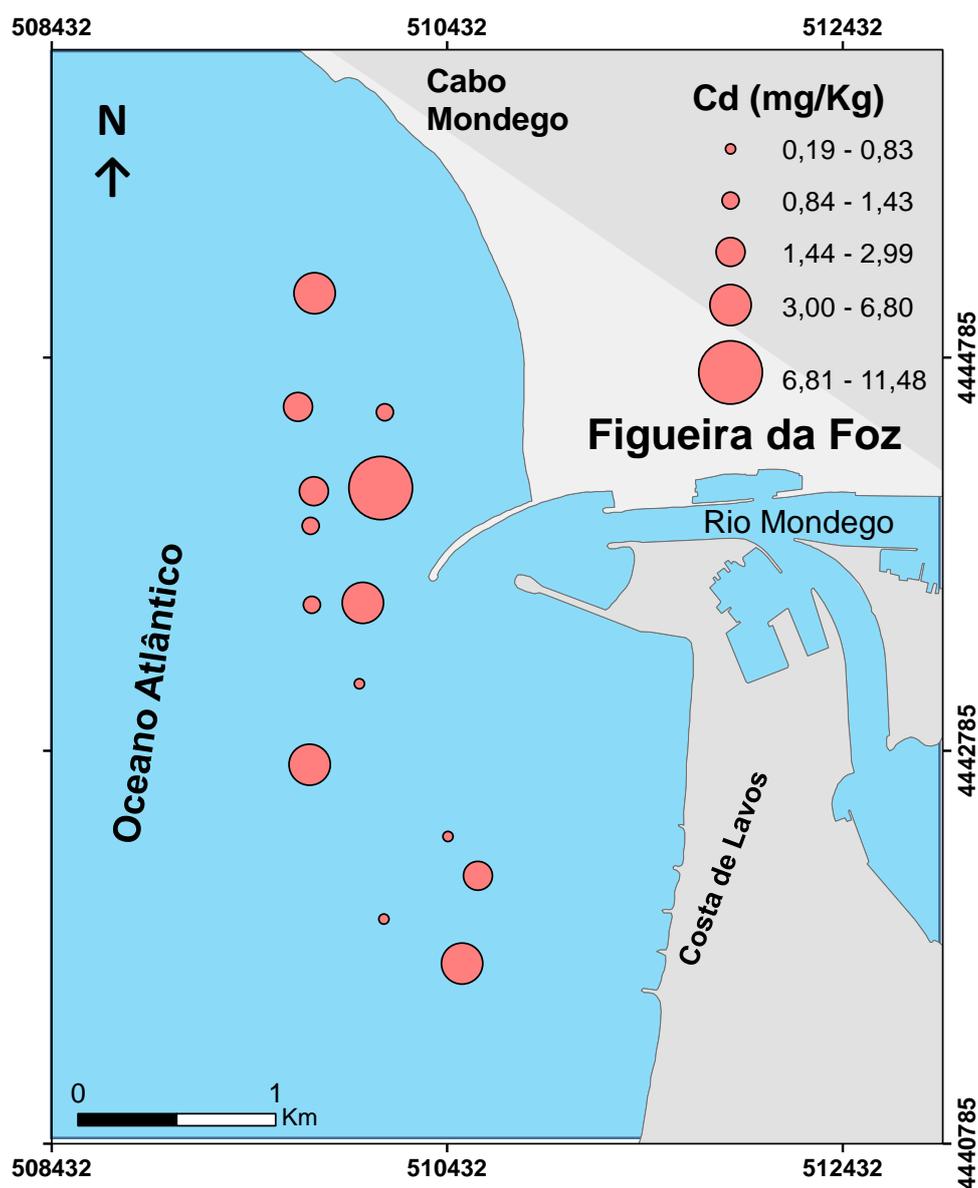


Figura 5.26. Distribuição espacial de Cádmiio (em  $\text{mgkg}^{-1}$ ) na fração sedimentar <63  $\mu\text{m}$  nos locais estudados da embocadura do Porto da Figueira da Foz

## 5.5. Resultados estatísticos

### 5.5.1. Correlações entre as variáveis

Os resultados da correlação de Pearson são mostrados na Tabela 5.11 abaixo. Nesta tabela são apresentadas as correlações de 39 pares de variáveis, sendo significativas as que apresentam  $r > |0,54|$  ( $p < 0,050$ ). As associações com correlações muito próximas de zero indicam que as variáveis têm um comportamento independente. No entanto, os pares que formam associações fracas  $r < |0,54|$ , apesar de não se correlacionarem

significativamente, também indicam que não apresentam comportamentos independentes um de outro.

A fração sedimentar fina (<63  $\mu\text{m}$ ) apresenta correlações positivas significativas moderadas a fortes com as variáveis quartzo (Qtzo), pirite (Pyr), carbonatos (Carb) com elementos maiores Fe, Al, Mg e K, e com elementos-traço Tl, V, Cu, Cr, Mn, Zn, Co, Ni, Ba, Ag e As ( $r$ : 0,64 a 0,93). O quartzo ( $r= 0,72$ ) é o mineral que mostra-se mais correlacionado com os finos, e analogamente aos elementos químicos, o Tl ( $r= 0,93$ ) é o que se mostra mais correlacionado com os finos. Esta fração sedimentar também se correlaciona positiva e significativamente com a densidade dos sedimentos (Dens) e matéria orgânica total (MOT) ( $r$ : 0,81 a 0,88). As concentrações mais elevadas destes elementos químicos, carbonatos, quartzo, pirite e densidade dos sedimentos formam encontradas em locais que apresentam sedimentos mais finos (ver a Figura 5.5 acima, e Apêndice 5), o que corrobora com os presentes resultados estatísticos. Isto significa que as concentrações destas variáveis, em geral, aumentam à medida que o tamanho médio do grão diminui na área de estudo, particularmente em locais mais profundos e distantes da embocadura (ver Figura 5.8 acima, e Apêndice 3). Embora com correlações moderadamente fracas, as variáveis filossilicatos ( $r= 0,47$ ), magnetite ( $r= 0,46$ ), calcite ( $r= 0,41$ ), cascalho ( $r= 0,40$ ) e Mo ( $r= 0,46$ ), mostram ligeiras apetências com os finos. No entanto, os finos apresentam correlações fracas com as variáveis U ( $r= 0,33$ ), anidrite ( $r= 0,30$ ), halite ( $r= 0,29$ ), Na ( $r=0,24$ ) e siderite ( $r=0,20$ ). Como era de esperar, os finos apresentam correlações negativas e positivas desprezíveis com as variáveis areia ( $r= -0,07$ ), feldspato potássico ( $r= -0,03$ ), média granulométrica (MG) ( $r= 0,09$ ), plagioclase, Ca ( $r= 0,18$ ) ( $r= 0,16$ ) e Cd ( $r= 0,16$ ).

A densidade dos sedimentos, além dos finos, correlaciona-se positiva e significativamente com as variáveis Mo, cascalho, Mg, magnetite, K, As, Ba, Pb, quartzo, Co, Ni, Mn, Zn, Al, Ag, Cr, Tl, V, Fe, pirite, matéria orgânica total e Cu ( $r$ : 0,58 a 0,88), e tem correlações fracas a moderadas com as variáveis Ca, plagioclase, Cd, siderite, halite, U, Na, calcite, filossilicatos, anidrite e carbonatos ( $r$ : 0,30 a 0,52). A densidade tem correlações muito fracas com as variáveis feldspato e areia ( $r$ : 0,17 a 0,18). A seguir aos finos, o cobre ( $r= 0,84$ ) é a variável que se mostra mais correlacionada à densidade, e o cálcio ( $r= 0,30$ ) é o elemento químico que se mostra menos correlacionado à densidade. Isto significa que, quanto mais minerais e metais de apetência aos finos se aglomerarem em finos, mais densa será o aglomerado.

A matéria orgânica total, além dos finos e densidade dos sedimentos, se correlaciona positiva e significativamente com as variáveis Ni, pirite, Cu, Co, Al, V, quartzo, Zn, Cr, Fe, Mn, Ba e Tl ( $r$ : 0,57 a 0,71). A matéria orgânica total apresenta correlações positivas fracas a ligeiramente moderadas com as variáveis Mo, magnetite, plagioclase, carbonatos, As, cascalho, filossilicatos, Mg, Pb, calcite, K, Ag e anidrite ( $r$ : 0,35 a 0,52). A matéria orgânica total também apresenta correlações desprezíveis e/ou muito fracas com as variáveis areia, Na, Ca, halite, siderite, feldspato, média granulométrica, Cd e U ( $r$ : 0,09 a 0,26). O quartzo ( $r$ = 0,65) é o mineral que se mostra mais correlacionada com a matéria orgânica total, e o Tálcio ( $r$ = 0,71) é o elemento químico que se mostra mais correlacionado com a matéria orgânica total. O sódio ( $r$ = 0,09) é o elemento químico que mostra menos correlacionado com a matéria orgânica total.

Os carbonatos, além dos finos, apresentam correlações positivas significativas com quartzo, As, Cr, Cu, Pb, Ba, Mg, Tl, Mn, Zn, V, Ni, K, Al, Fe e Co ( $r$ = 0,59 a 0,81), mas têm correlações negativas e positivas desprezíveis com as variáveis U, plagioclase, feldspato e siderite ( $r$ : -0,05 a 0,13). O Cobalto ( $r$ = 0,81) é o elemento químico que mostra-se mais correlacionado com os carbonatos. O Urânio ( $r$ = -0,05) é o elemento químico que mostra-se menos correlacionado com os carbonatos. Analogamente, o quartzo ( $r$ = 0,60) é o mineral que mostra-se mais correlacionado com os carbonatos. Já a plagioclase ( $r$ = 0,04) tem um comportamento contrário ao de quartzo, pois é o mineral que mostra-se menos correlacionado com os carbonatos.

O quartzo, além dos finos, densidade, matéria orgânica total e carbonatos, também se correlaciona positiva e significativamente com as variáveis siderite, Pb, Ba, Al, Zn, Mn, Co, Ni, Fe, Cu, V, Tl e Cr ( $r$ : 0,57 a 0,76). Este mineral correlaciona-se muito fracamente com as variáveis feldspato potássio, anidrite, halite, sódio, areia, média granulométrica, U e plagioclase ( $r$ : -0,09 a 0,18). O Cr ( $r$ = 0,76) é o elemento químico que mostra-se mais correlacionado com o quartzo. Já, o Na ( $r$ = 0,11) é o elemento químico que mostra-se menos correlacionado com este mineral.

Os filossilicatos apresentam correlações positivas significativas com as variáveis Tl, Pb, V, K, Fe, As, Zn, Mn, Co, anidrite e Al ( $r$ : 0,54 a 0,63). O Al é o elemento químico que se mostra mais correlacionado com os filossilicatos ( $r$ = 0,63). Este mineral também apresenta correlações positivas aproximadamente moderadas a moderadas com as variáveis Cu, Cr, Ag, Ba, Mg e Ni ( $r$ : 0,45 a 0,53). Este grupo de minerais mostra-se

---

menos correlacionado com a siderite ( $r = -0,12$ ). A siderite, no geral, apresenta fracas correlações com todas as variáveis, com exceção das correlações mostradas pelas variáveis Ca ( $r = 0,60$ ) e Cd ( $r = 0,67$ ). Importa destacar que este mineral também apresenta correlação negativa desprezível com a anidrite ( $r = -0,21$ ). A anidrite também apresenta fracas a moderadas correlações em quase todas as variáveis, mas correlaciona-se positiva e significativamente com o mineral feldspato potássio ( $r = 0,55$ ).

O feldspato potássico apresenta correlações positivas significativas com as variáveis U, Na, halite, Cd, média granulométrica, plagioclase e areia ( $r: 0,55$  a  $0,83$ ). O Cd ( $r = 0,66$ ) é o elemento químico que se mostra mais correlacionado com o feldspato potássio. A plagioclase apresenta correlações positivas significativas com as variáveis Mo, Na, U, magnetite, areia e média granulométrica ( $r: 0,55$  a  $0,66$ ). O Na ( $r = 0,56$ ) é o elemento químico que se mostra mais correlacionado com a plagioclase.

O feldspato potássico e a plagioclase têm maiores concentrações em locais compostos de areia fina a média, o que significa tendem a aumentar as suas concentrações com o aumento da granulometria dos sedimentos arenosos. O mesmo acontece com a magnetite ( $r = 0,71$ ) e halite ( $r = 0,63$ ). Embora que estes minerais tenham proporções menos expressivas na área de estudo, tendem a aumentar a sua concentração com tamanho médio do grão. A magnetite também tem correlações positivas significativas com as variáveis halite, K, Pb, pirite, Ni, Mg, As, Na, Ag e Mo ( $r: 0,57$  a  $0,91$ ). A halite também mostra-se positiva e significativamente correlacionada com Cu, Ni, Ba, cascalho, pirite, Ag, Pb, As, K e Mg ( $r: 0,55$  a  $0,70$ ), e fortemente correlacionada com as variáveis Cd ( $r = 0,84$ ) e Na ( $r = 0,90$ ). A pirite correlaciona-se positiva e significativamente com as variáveis Na, K, Cr, Co, Al, Ba, Ni, Mn, Fe, V, Zn, As, Ag e Cu ( $r: 0,55$  a  $0,68$ ). A calcite, com exceção da correlação mostrada com a variável Ca ( $r = 0,57$ ), apresenta correlações não significativas com todas as variáveis. De todas as variáveis analisadas, este mineral mostra-se menos correlacionada com o elemento Na ( $r = -0,01$ ).

De um modo geral, tanto os elementos maiores, quanto os elementos traços, ao se correlacionarem uns com os outros, apresentam correlações significativas moderadas, fortes e perfeitas, como por exemplo, a correlação do par Mn/Zn ( $r = 0,997$ ), exceto quando correlacionadas com Cálcio, Cádmio e Urânio mostram-se fracamente correlacionado. No entanto, os pares de variáveis U/Ag ( $r = 0,61$ ) e Cd/Na ( $r = 0,79$ ) apresentam correlações positivas significativas (Tabela 5.11).

### 5.5.2. Análise de classificação em modo R

O dendrograma elaborado com base em dados geoquímicos, análise de classificação em modo R (em função das variáveis), com base nas correlações de Pearson e no método de ligações completas para aglutinação de variáveis revela dois grupos principais separados pelas suas dissimilaridades em relação ao tamanho médio de grão, quantidade de bioclastos e matéria orgânica (Figura 5.27). O grupo 1 é composto por Cd, Na, halite, cascalho, anidrite, filossilicatos, U, plagioclase, feldspato potássico, areia e média granulométrica. A formação deste grupo, convencionalmente designado por grupo de areia, é caracterizada pelas variáveis correlacionadas com o aumento do tamanho médio de grãos, ou seja, quanto mais arenosas forem as amostras, as quantidades destas variáveis aumentarão.

O grupo 2 é formado pelas variáveis Ca, siderite (Sid), calcite (Calc), Mo, Ba, Cu, Ni, Cr, Tl, Fe, V, Zn, Mn, Co, Al, Ag, As, Pb, k, Mg, carbonatos (Carb), quartzo (Qtz), matéria orgânica total (MOT), densidade (Dens) e finos. Este grupo pode ser subdividido em dois subgrupos: o subgrupo 2.1, composto por Mo, Cu, Cr, Tl, Fe, V, Mn, Co, Al, Ag, As, Pb, K, Mg, carbonatos (Carb), quartzo (Qtz), matéria orgânica total, densidade e finos, e o subgrupo 2.2, constituído por Ca, siderite (Sid) e calcite (Calc). A composição do subgrupo 2.1, convencionalmente denominada de grupo dos finos, é condicionada pela redução do tamanho médio de grãos, aumento de teores da matéria orgânica e carbonatos. A maioria destas variáveis mostram correlações significativas positivas moderadas a fortes com os finos, e correlações positivas moderadas com matéria orgânica e carbonatos, mas a maioria destas variáveis apresentam correlações fracas e algumas negativas com as variáveis do grupo 1. A formação de subgrupo 2.2, denominado convencionalmente de grupo de cálcio, é justificada pelas correlações positivas significativas moderadas que as variáveis siderite e calcite apresentam com o cálcio e um ligeiro condicionamento com o aumento do tamanho médio dos grãos. A pertença de subgrupo 2.2 no grupo 2, pode ser forçada com as correlações positivas significativas moderadas mostradas entre os pares Ca/Pb ( $r=0,80$ ) e siderite/quartzo ( $r=0,57$ ). As variáveis de subgrupo 2.2, com exceção de siderite que mostra uma correlação positiva significativa moderada com Pb ( $r=0,67$ ), apresentam correlações fracas com as variáveis do grupo 1, deste modo, justifica-se a similaridade existente entre o subgrupo 2.2 e subgrupo 2.1.

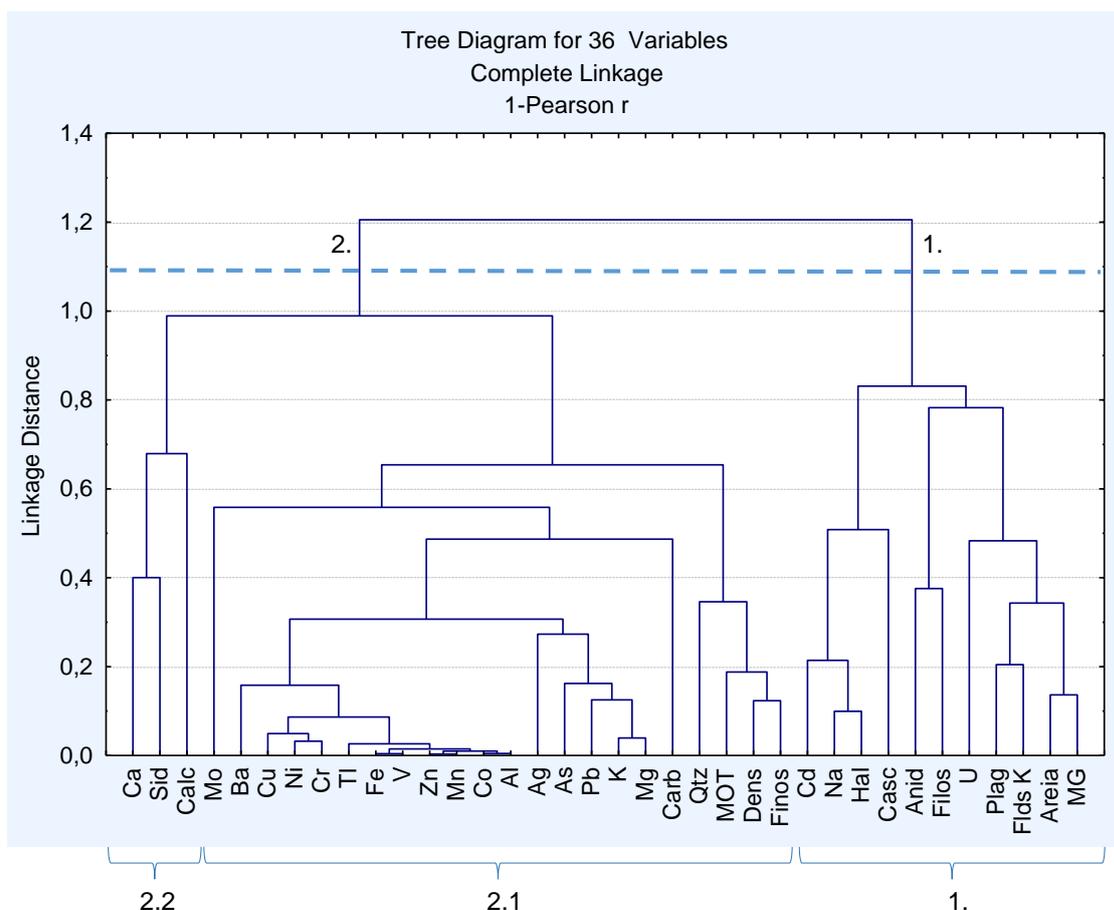


Figura 5.27. O dendrograma elaborado a partir de amostras com dados geoquímicos, análise de classificação em modo R (em função das variáveis), com base nas correlações de Pearson e no método de ligações completas para aglutinação de variáveis. Onde: Mg (média granulométrica), Bioc (bioclastos), MO (matéria orgânica), Carb (carbono orgânico total), Calc (calcite), Sid (siderite), Anid (anitrite) e Filos (filossilicatos).

### 5.5.3. Análise de classificação em modo Q

O dendrograma elaborado a partir de amostras com dados geoquímicos, análise de classificação em modo Q (em função das estações), com base nas Distâncias Euclidianas e no método de Ward para a aglutinação das estações e com base nas mesmas variáveis usadas no dendrograma em modo R (Figura 5.28), mostra dois grupos principais de estações separados com base nas diferenças de quantidades de carbonatos, matéria orgânica, quantidade dos finos, elementos químicos e tipos de minerais. O grupo 1 é composto pelas amostras FF23, FF24, FF5, FF18, FF15, FF34, FF20, FF14, FF3, FF28, FF13 e FF1. A formação deste grupo é condicionada pelo aumento de finos nestas amostras, matéria orgânica, carbonatos, quartzo, filossilicatos e elementos químicos, sendo mais correlacionadas quanto mais finas lodosas forem as amostras, mas mostra-se fracamente correlacionada com o grupo 2. O grupo um pode ser subdividida em dois



Tabela 5.11. Resultados das correlações de Pearson de 39 variáveis; as correlações significativas (destacados a cor azul) são os que apresentam  $r > 0,54,00$  ( $P < 0,05$ ;  $N = 14$ ).

		Correlações entre as variáveis																																								
→	MG	Casc	Areia	Finos	Dens	MOT	Carb	Qtz	Flds K	Plag	Calc	Hal	Sid	Filos	Anid	Magn	Pyr	Na	Mg	Al	K	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Cd	Ba	Tl	Pb	U				
MG	1,00																																									
Casc	0,41	1,00																																								
Areia	0,86	0,25	1,00																																							
Finos	0,09	0,40	-0,07	1,00																																						
Dens	0,37	0,62	0,18	0,88	1,00																																					
MOT	0,18	0,38	0,09	0,81	0,83	1,00																																				
Carb	0,35	0,48	0,24	0,59	0,52	0,37	1,00																																			
Qtz	0,15	0,36	0,14	0,72	0,71	0,65	0,60	1,00																																		
Flds K	0,77	0,28	0,83	-0,03	0,17	0,16	0,09	-0,09	1,00																																	
Plag	0,66	0,31	0,66	0,16	0,30	0,36	0,04	0,18	0,80	1,00																																
Calc	0,32	0,11	0,41	0,41	0,47	0,48	0,31	0,34	0,32	0,06	1,00																															
Hal	0,63	0,58	0,51	0,29	0,38	0,14	0,41	0,08	0,65	0,45	0,10	1,00																														
Sid	0,32	0,34	0,44	0,20	0,35	0,16	0,13	0,57	0,26	0,22	0,32	0,36	1,00																													
Filos	0,36	0,30	0,38	0,47	0,47	0,43	0,53	0,24	0,22	0,22	0,21	0,34	-0,12	1,00																												
Anid	0,44	0,49	0,36	0,30	0,48	0,52	0,29	-0,01	0,55	0,48	0,17	0,37	-0,21	0,62	1,00																											
Magn	0,71	0,45	0,39	0,46	0,65	0,35	0,36	0,33	0,47	0,60	0,10	0,57	0,22	0,24	0,39	1,00																										
Pyr	0,45	0,68	0,29	0,62	0,83	0,59	0,30	0,33	0,40	0,31	0,49	0,65	0,36	0,37	0,49	0,60	1,00																									
Na	0,75	0,59	0,51	0,24	0,38	0,09	0,36	0,11	0,61	0,56	-0,01	0,90	0,35	0,23	0,29	0,75	0,55	1,00																								
Mg	0,46	0,51	0,20	0,72	0,63	0,44	0,72	0,47	0,24	0,37	0,09	0,70	0,11	0,53	0,30	0,69	0,53	0,73	1,00																							
Al	0,22	0,52	0,05	0,87	0,75	0,64	0,79	0,64	0,003	0,14	0,29	0,47	0,08	0,63	0,31	0,45	0,58	0,41	0,88	1,00																						
K	0,40	0,62	0,17	0,72	0,65	0,50	0,78	0,51	0,18	0,29	0,12	0,68	0,10	0,57	0,34	0,56	0,57	0,66	0,96	0,94	1,00																					
Ca	0,37	0,28	0,56	0,18	0,30	0,13	0,28	0,45	0,43	0,37	0,57	0,11	0,60	0,02	0,06	0,26	0,24	0,14	0,05	0,07	0,01	1,00																				
V	0,23	0,56	0,07	0,90	0,80	0,65	0,77	0,71	0,02	0,18	0,32	0,48	0,22	0,55	0,25	0,50	0,62	0,44	0,88	0,99	0,92	0,18	1,00																			
Cr	0,16	0,49	0,002	0,89	0,78	0,66	0,65	0,76	-0,06	0,19	0,20	0,43	0,28	0,48	0,13	0,47	0,57	0,41	0,84	0,94	0,88	0,09	0,97	1,00																		
Mn	0,22	0,54	0,07	0,87	0,75	0,66	0,75	0,65	0,04	0,18	0,31	0,50	0,15	0,58	0,27	0,44	0,61	0,44	0,88	0,99	0,94	0,10	0,99	0,96	1,00																	
Fe	0,25	0,54	0,07	0,90	0,80	0,66	0,80	0,69	0,03	0,17	0,32	0,50	0,18	0,57	0,29	0,51	0,62	0,45	0,89	0,99	0,93	0,14	0,996	0,96	0,99	1,00																
Co	0,24	0,53	0,06	0,86	0,74	0,63	0,81	0,66	0,02	0,15	0,27	0,51	0,13	0,59	0,28	0,46	0,57	0,44	0,90	0,995	0,95	0,08	0,99	0,95	0,99	0,99	1,00															
Ni	0,27	0,54	0,07	0,86	0,75	0,57	0,78	0,68	0,02	0,17	0,22	0,55	0,23	0,53	0,21	0,54	0,59	0,52	0,92	0,97	0,95	0,11	0,99	0,97	0,97	0,99	0,98	1,00														
Cu	0,31	0,59	0,08	0,89	0,84	0,62	0,67	0,71	0,08	0,26	0,25	0,55	0,34	0,45	0,22	0,65	0,68	0,58	0,90	0,91	0,89	0,20	0,95	0,95	0,93	0,95	0,92	0,97	1,00													
Zn	0,22	0,57	0,06	0,86	0,76	0,65	0,76	0,65	0,04	0,18	0,27	0,53	0,17	0,58	0,29	0,45	0,62	0,45	0,88	0,99	0,95	0,08	0,99	0,96	0,997	0,99	0,99	0,98	0,93	1,00												
As	0,48	0,62	0,34	0,64	0,68	0,37	0,64	0,53	0,27	0,43	0,08	0,68	0,28	0,57	0,30	0,70	0,63	0,69	0,88	0,81	0,87	0,25	0,84	0,82	0,82	0,83	0,82	0,87	0,86	0,83	1,00											
Mo	0,72	0,34	0,41	0,46	0,58	0,35	0,44	0,44	0,35	0,55	0,05	0,53	0,22	0,30	0,20	0,91	0,47	0,74	0,77	0,54	0,67	0,12	0,57	0,59	0,54	0,59	0,57	0,64	0,69	0,55	0,74	1,00										
Ag	0,47	0,41	0,23	0,79	0,76	0,51	0,51	0,41	0,36	0,41	0,27	0,64	0,20	0,49	0,43	0,80	0,68	0,66	0,85	0,72	0,73	0,22	0,75	0,70	0,71	0,77	0,72	0,77	0,84	0,71	0,76	0,70	1,00									
Cd	0,67	0,49	0,64	0,16	0,35	0,20	0,27	0,25	0,66	0,48	0,15	0,84	0,67	0,17	0,25	0,47	0,53	0,79	0,44	0,24	0,43	0,20	0,29	0,30	0,29	0,29	0,35	0,40	0,32	0,46	0,48	0,42	1,00									
Ba	0,38	0,45	0,22	0,80	0,69	0,70	0,72	0,58	0,25	0,34	0,41	0,56	0,13	0,50	0,32	0,48	0,58	0,51	0,87	0,92	0,91	0,10	0,91	0,87	0,94	0,92	0,93	0,89	0,84	0,92	0,72	0,60	0,69	0,39	1,00							
Tl	0,11	0,51	-0,05	0,93	0,79	0,71	0,73	0,72	-0,08	0,09	0,29	0,40	0,18	0,54	0,24	0,39	0,57	0,33	0,82	0,98	0,88	0,07	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96	0,93	0,98	0,75	0,48	0,70	0,23	0,89	1,00						
Pb	0,44	0,65	0,26	0,76	0,71	0,45	0,71	0,57	0,20	0,27	0,28	0,65	0,36	0,54	0,25	0,59	0,61	0,69	0,89	0,86	0,87	0,30	0,88	0,83	0,87	0,88	0,86	0,90	0,92	0,86	0,84	0,62	0,82	0,47	0,78	0,84	1,00					
U	0,52	0,19	0,52	0,33	0,38	0,26	-0,05	0,15	0,57	0,56	0,37	0,43	0,46	0,25	0,24	0,45	0,41	0,51	0,31	0,13	0,16	0,45	0,19	0,18	0,18	0,18	0,12	0,19	0,34	0,14	0,29	0,34	0,61	0,47	0,23	0,16	0,49	1,00				

---

**CAPÍTULO 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS****6.1. Características texturais e físicas dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz**

Os dados de sonar de varrimento lateral, calibrados com resultados do estudo da amostragem de sedimentos de fundo, permitiram caracterizar e cartografar de forma contínua o fundo marinho na área em estudo. Com base neste método foi possível identificar 3 zonas correspondentes a diferentes classes texturais de sedimentos (areia fina, areia média e areia grosseira) na área de estudo, a embocadura do Porto da Figueira da Foz (Figura 5.4). No entanto, a observância da pouca precisão para distinção entre os locais amostrados caracterizados por areia fina e muito fina (locais mais escuros da área mostrado no mosaico da Fig. 5.4), mostra que o sonar de varrimento lateral não tem frequentemente resolução suficiente para distinguir estes dois tipos de classes de sedimentos e que a presença de ruído nos dados não facilmente removível durante o processamento pode ainda tornar essa distinção mais difícil.

Os resultados texturais das amostras analisadas permitiram verificar que os sedimentos na embocadura do Porto da Figueira da Foz são, na maioria das vezes, constituídos de partículas de tamanhos muito diversos. Nesta região predominam sedimentos arenosos (94,6%) em detrimento dos finos e cascalhos o que é típico de ambientes costeiros de elevado hidrodinamismo. Tratando-se de uma embocadura natural, embora com modificações artificiais importantes que influenciam a sua dinâmica natural, também são frequentes os sedimentos da classe de areia fina a média nos locais onde decrescem as condições hidrodinâmicas e aumenta a profundidade.

A dimensão das partículas e densidade são provavelmente algumas das propriedades mais ressaltantes dos sedimentos. É com base nestas propriedades que as partículas sedimentares são selecionadas durante o transporte pelo agente transportador, resultando no grau das suas similaridades nas diferentes áreas de deposição. Quanto maior o diâmetro das partículas, maior é em geral o seu peso, e conseqüentemente, mais intensa tem que ser a energia das ondas e das correntes para as suspender e transportar. Em suma, a dimensão das partículas depositadas, tal como Dias (2004a) sustenta, está relacionada em geral com a intensidade do agente de transporte e/ou com níveis energéticos do ambiente de deposição.

Neste estudo, tal como referido no Capítulo 5, os locais caracterizados pela presença de sedimentos lodosos e por areia fina localizam-se preferencialmente nas áreas

mais afastadas e mais profundas da embocadura do Porto da Figueira da Foz (ver Figura 5.8).

Os sedimentos analisados neste estudo provêm de materiais transportados pelas das águas do rio Mondego até ao seu nível da base ou a jusante, a embocadura do Porto da Figueira da Foz e de materiais transportados pela deriva litoral. A água escoar no sentido das cotas mais baixas (Pacheco & Alencão, 2008). Os rios transportam grandes quantidades de sedimentos em suspensão e sobre o fundo. As partículas mais grosseiras são depositadas ao atingirem a embocadura, onde as correntes são mais fracas em virtude do alargamento do leito. A fração mais fina é transportada mais para jusante e só se depositará por decantação em áreas em que as correntes são suficientemente fracas. Este processo é auxiliado por um fenómeno denominado de floculação, o qual consiste na agregação das partículas sedimentares mais finas na forma de suspensão coloidal em resposta às forças eletrostáticas dos iões que compõem a água doce e água do mar, com o conseqüente aumento da taxa de deposição (Pryor, 1975; Biorede, 2001; Pomerol *et al.*, 2013).

Devido à interação entre a água salgada e a água doce, nas embocaduras existe uma estratificação da massa líquida resultante das diferenças de densidade, criando-se uma interface entre as duas massas líquidas, com a água salgada escoando por baixo na direção ao continente (mais densa), e água doce escoando à superfície com os finos em suspensão na direção do mar (Silvester & Hsu, 1997). De acordo com estes autores, a intensificação da corrente marítima direcionada para a embocadura dá-se no período de enchente. Contudo, existem pontos onde os movimentos dos sedimentos de ambas as correntes ao longo da interface entre a água doce e salgada se anulam mutuamente, promovendo assim, a acumulação do sedimento, cuja localização depende da posição desta interface e do ciclo da maré. Segundo Pomerol *et al.* (2013), essa acumulação de sedimentos obstrui o estuário dos grandes rios (barra de vasa) no qual se mantém um canal navegável a grandes custos. Como foi referido anteriormente, o sedimento fino é depositado no alto-mar, ao passo que o sedimento grosseiro acumula-se junto à embocadura dos rios.

De acordo com Pomerol *et al.* (2013), o efeito das ondas também reforça a ação exercida pelas correntes, pois ao colocar as partículas em suspensão, elas facilitam o seu transporte pelas correntes. Entretanto, a agitação da água diminui rapidamente com a profundidade, definindo-se deste modo o limite de ação das ondas: a profundidade abaixo

da qual os sedimentos não são mais submetidos à agitação. Este limite depende do regime dos ventos e da morfologia da costa. Ele é, em média, igual a metade do comprimento de onda ( $\lambda$ ) das ondas. Pomerol et al. (2013) acrescenta que, a segregação dos sedimentos resulta, também na modificação da altura da água ao longo do ciclo da onda. Durante a passagem da crista, a altura da água eleva-se e a fricção sobre o fundo é fraca. Como a tração é exercida para a costa, os sedimentos finos e grosseiros são levados nessa direção. Na calha da onda, a altura da água diminui, o que faz aumentar a fricção sobre o fundo. A tração é exercida, então, na direção do mar aberto, mas devido ao aumento da fricção sobre o fundo, somente os finos são levados para o alto-mar.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram o comportamento da corrente marítima na embocadura do Porto da Figueira da Foz, estudada por Silva et al. (2015). Estes autores concluíram que as escavações resultantes das operações de dragagens efetuadas na embocadura do Porto da Figueira da Foz são posteriormente preenchidas com sedimentos provenientes da deriva litoral. A corrente da maré, na embocadura, pode contribuir para o enchimento das escavações. A escala de tempo de permanência das escavações é dependente da frequência dos eventos extremos de ondulação. A intensidade e o sentido da corrente de deriva litoral no cabo Mondego dependem das condições de agitação marítima incidentes (Silva *et al.*, 2015).

Os resultados do presente estudo mostram que os locais com sedimentos compostos por partículas mais densas (superiores à média,  $1,63 \text{ g/cm}^3$ ) estão associados a finos e a alguma percentagem de cascalhos. Os pares de variáveis finos/densidade ( $r=0,88$ ), cascalhos/densidade ( $r=0,62$ ), finos/cascalhos ( $r=0,40$ ), finos/matéria orgânica total ( $r=0,81$ ), média granulométrica/densidade ( $r=0,37$ ) e finos com a maior parte dos elementos químicos, mostrados na matriz de correlação, poderão estar relacionadas com processos de deposição de sedimentos.

Segundo Pryor (1975), os aglomerados de sedimentos lodosos de tamanho da argila associados a matéria orgânica com densidades suficientes podem flocular e depositar-se, mesmo em condições de águas um pouco agitadas. Segundo Schön (1996), *apud* Falcão & Neto (2010), a densidade do sedimento é controlada por composição mineral, porosidade e condições de saturação de partículas sedimentares como substratos químicos e matéria orgânica nos fluídos. Existe uma forte correlação entre a porosidade e saturação de partículas sedimentares no fluido. O aumento da porosidade causa a diminuição da densidade. Porém, a correlação exata é controlada pela densidade da matriz

---

e do fluido presente no espaço poroso. Analogamente, os aglomerados coloidais dos finos em suspensão podem tender a reduzir os espaços porosos à medida que estes se formam e, conseqüentemente, aumentar a densidade e/ou a velocidade de decantação.

As estações de área de estudo com predomínio de sedimentos grosseiros (cascalho e areia grosseira a média) estão localizadas próximas e adjacentes à embocadura e nos locais de baixa profundidade. Estes resultados corroboram os resultados encontrados por Cunha & Dinis (1998), ao estudarem a erosão nas praias entre o Cabo Mondego e a Figueira da Foz, no período de 1995 a 1998. A área adjacente à embocadura do Porto da Figueira da Foz é caracterizada por uma faixa de praia constituída essencialmente por areia média a grosseira, abastecida pela deriva litoral, cujo saldo sedimentar é dirigido para sul, reflexo da ondulação média de WNW (Cunha & Dinis, 1998). No presente estudo, a presença de sedimentos grosseiros pode resultar dos processos de remoção dos finos por ação das ondas evidenciando depósitos grosseiros depositados em níveis do mar mais baixos, em locais onde a corrente é atualmente mais fraca (Martins et al., 2012). Os sedimentos de maior granulometria presentes na área de estudo podem também resultar do aporte de sedimentos mais grosseiros trazidos pelo Rio Mondego ou associados a eventos de tempestade.

Outro parâmetro granulométrico analisado neste estudo é a calibração. A predominância dos sedimentos moderadamente calibrados na área de estudo (47,22%) corrobora o proposto por Folk & Ward (1957) para o domínio estuarino. A ocorrência de sedimentos muito mal calibrados (2,78%) em algumas estações pode ser explicada pela progradação dos corpos sedimentares em direção à embocadura, aliados a irregularidades energéticas ou a regimes torrenciais (Dias, 2004; Carvalho, 2005). A presença dos sedimentos moderadamente bem selecionados (33,33%) em algumas zonas da área de estudo pode indicar o transporte seletivo influenciado pela ação das correntes e ondas no ambiente deposicional.

A distribuição espacial dos parâmetros granulométricos pode mudar tanto em ambientes diferentes como dentro do mesmo ambiente. Segundo Pomerol et al. (2013), é frequente a ocorrência de seleção heterométrica dos grãos, mas a seleção pode ser muito regular, dando origem a curva simétrica. O predomínio da distribuição simétrica dos sedimentos em análise (cerca de 44,44%), em detrimento da curva grosseiramente assimétrica e finamente assimétrica (ambas com 22,22%), muito finamente assimétrica (8,33%) e muito grosseiramente assimétrica (2,78%) pode indicar uma tendência de

equilíbrio entre os sedimentos finos e médios na área de estudo. Contudo, as assimetrias observadas na distribuição espacial dos sedimentos muito finamente assimétrica e muito grosseiramente assimétrica pode indicar mudanças nas condições de energia do ambiente.

De acordo com Friedman (1967), a assimetria é o parâmetro que melhor define o ambiente de deposição. Duane (1964) apud Barreto et al. (2015), em seu estudo em Pamlico, na Carolina do Norte, verificou que valores negativos (positivos na escala *phi*) de assimetria são indicativos de áreas em processo de erosão, enquanto valores positivos (negativos na escala *phi*) indicam deposição de sedimentos.

Entretanto, há necessidade de se ter prudência nas inferências, porque uma parte dos sedimentos que entra no cálculo dos diferentes índices de assimetria pode ter sido herdado de eventos deposicionais passados e apenas expressar o último modo de transporte de um sedimento que no momento atual se encontra na superfície oceânica (Pomerol et al., 2013).

A curtose foi um parâmetro estatístico também estudado. A análise da variação deste parâmetro permite determinar o grau de mistura de diferentes populações dentro de um mesmo ambiente sedimentar (Folk & Ward, 1957). A curva predominante nas amostras sedimentares estudadas é mesocúrtica (33,33%). Esta curva sugere uma distribuição normal, neste caso, entre as classes areias médias e finas, delimitando as áreas intermediárias da média de energia. A curva platicúrtica (16,67%) pode reforçar a ideia de que na área de estudo houve pouco espalhamento de sedimentos grosseiros e finos para formar subpopulações. Esta ilação é corroborada pelas baixas percentagens de sedimentos mal calibrados (16,67%) e muito mal calibrados (2,78%).

## **6.2. Características mineralógicas dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz**

Os resultados de análises mineralógicas indicam que os sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz são predominantemente constituídos por quartzo. Este mineral esteve sempre presente em todas as amostras analisadas com uma percentagem um pouco acima de 44% (média, 54,02%). Para além do quartzo, os filossilicatos marcaram presença significativa na área de estudo (média 20,43%), sendo ainda de salientar a ocorrência muito comum de plagioclase (média 10,26%) e feldspato potássico (média 7,60%). A calcite é um mineral acessório (média 3,14%). Na área de

estudo é pouco expressiva a ocorrência de outros minerais (com valores médios  $\leq 1$  %) como por exemplo a halite, anidrite, siderite, pirite, dolomites, magnetite e hematite.

A composição mineralógica dos sedimentos na área de estudo pode estar relacionada com a geologia local e regional e, com os processos inerentes à sua alteração mecânica e química, e transporte pelas águas do rio Mondego até jusante.

A análise de classificação em modo R (Figura 5.28) mostra que o quartzo é um dos maiores constituintes dos sedimentos mais finos e acompanha a sua deposição assim como a de matéria orgânica total, carbonatos, assim como a densidade do sedimento (subgrupo 2.1). A abundância do mineral quartzo na área de estudo está certamente relacionada à ocorrência de granitos, quartzitos e arenitos-quartzosos, rochas aflorantes ao longo da Bacia hidrográfica do Rio Mondego (Ver Capítulo 2).

Deer et al. (2014) afirmam que a composição química do quartzo é geralmente muito próxima de 100% de  $\text{SiO}_2$ . As pequenas quantidades de outros óxidos ou elementos químicos devem-se geralmente a pequenas inclusões de outros minerais ou a líquidos que preenchem cavidades no interior de quartzo. Embora seja um mineral estável, pode sofrer alguma solubilidade. Segundo Choudhuri (1997), a dissolução de quartzo na água ocorre de uma maneira congruente, isto é, com a mesma composição. Mas a maioria dos minerais são dissolvidos de uma maneira incongruente, resultando em produtos de composição diferente. Por exemplo, a dissolução de feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) origina a formação de caulinite ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).

No presente estudo, o quartzo apresenta-se muito fracamente correlacionado com a plagioclase ( $r= 0,18$ ) e feldspato potássico ( $r= -0,09$ ), calcite ( $r= 0,34$ ), magnetite ( $r= 0,33$ ), pirite ( $r= 0,33$ ) e filossilicatos ( $r= 0,24$ ), e significativamente correlacionado siderite ( $r= 0,57$ ). Estas correlações e os resultados da análise de classificação podem estar relacionadas com fontes dos sedimentos (terrígenas, biogénicas ou químicas), meteorização mecânica e química dos sedimentos durante o transporte ou retrabalhamento dos sedimentos (desaparecimento de minerais mais facilmente desgastáveis, o caso dos feldspatos) e eventualmente processos autigénicos locais (ocorrência de pirite biogénica em microambientes anóxicos).

A correlação positiva significativa de quartzo/siderite ( $r= 0,57$ ) pode indicar a ocorrência destes minerais em fontes próximas ou idênticas, como arenitos e calcários associados ao ferro, ou talvez a siderite resulte de precipitação química.

Os filossilicatos, apesar de se enquadrarem no grupo 1, o grupo de areia (Figura 5.28), mostram-se mais dependentes em geral dos finos do que de sedimentos mais grosseiros. A maior correlação no par variáveis filossilicatos/finos ( $r= 0,47$ ) que nas correlações entre os pares de variáveis filossilicatos/ areia ( $r= 0,38$ ) e filossilicatos/MG ( $r= 0,36$ ) pode reforçar a ideia de apetência deste grupo de minerais nos finos.

A presença significativa de filossilicatos (20,43%) na área de estudo pode refletir essencialmente a influência continental da formação argilo-arenosa e greso-argilosa das rochas metamórficas, magmáticas, sedimentares e dos solos da região, que resultam de processos diagenéticos e meteorização. A ocorrência simultânea de anidrite e filossilicatos nas amostras FF1, FF18, FF23 e FF24 pode também refletir proximidade de áreas fonte dos locais de deposição dos sedimentos.

Os filossilicatos são grupos de minerais (micas talco e minerais argilosos) constituídos de camadas de tetraedros unidos em três de seus vértices, formando uma rede plana com malha hexagonal ( $\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}$ ) (Pomerol et al., 2013). As correlações positivas entre o grupo de filossilicatos e as variáveis Al ( $r= 0,57$ ), K ( $r= 0,57$ ), Fe ( $r= 0,57$ ), Mg ( $r= 0,53$ ) e Ba ( $r= 0,50$ ) pode estar associada à presença destes grupos de minerais nos sedimentos. A correlação positiva entre os filossilicatos e densidade ( $r= 0,47$ ) pode refletir a ocorrência de floculação e adsorção no local de estudo, permitindo a formação de aglomerados de minerais finos e matéria orgânica e conseqüentemente no aumento da densidade. A biotite é um filossilicato que deve ser abundante na área de estudo dada a proximidade da área fonte dos minerais. Por outro lado, os filossilicatos possuem frequentemente inclusões de minerais pesados, o que poderá contribuir também para o aumento da densidade do sedimento. É importante realçar que os filossilicatos podem acompanhar a deposição dos materiais grosseiros em locais de elevado hidrodinamismo, quando encontram-se aderentes na superfície de grosseiros. Este comportamento é típico da caulinite. A correlação positiva entre as variáveis filossilicatos e areia ( $r= 0,38$ ), embora fraca, pode reforçar essa a apetência destes grupos de minerais em relação aos grosseiros.

A plagioclase, feldspato potássico, anidrite e halite são minerais que acompanham a deposição sedimentos mais grosseiros (Figura 5.28).

As ocorrências muito comuns de plagioclase (10,26%) e feldspato potássico (7,60%) na área de estudo podem refletir a ocorrência destes minerais em áreas fonte idênticas ou próximas (alteração de granitos), ou refletir áreas de deposição próximas da

---

fonte. A correlação positiva bastante significativa no par de variáveis plagioclase/feldspato potássico ( $r=0,80$ ) pode reforçar a ideia de fontes comuns ou muito próximas. A correlação positiva significativa dos pares plagioclase/média granulométrica ( $r=0,66$ ) e feldspato potássico/média granulométrica ( $r=0,77$ ), e a presença destes minerais em todas amostras analisadas (particularmente, em FF3, FF13, FF15, FF24 e FF34) pode reforçar a ideia de proximidade de locais de deposição e a similaridade na composição de sedimentos depositados.

A plagioclase é uma série importante de tectossilicatos da família dos feldspatos, de variedade albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e anortite ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ). Esta série é proveniente de rochas ígneas (pegmatitos) e algumas metamórficas, sendo também frequente como mineral detrítica das rochas sedimentares (Carvalho, 2005; Pomerol et al., 2013; Deer et al., 2014). A plagioclase geralmente contém menos de 5 a 10% do componente potássico (feldspato potássico, a ortoclase,  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) (Deer et al., 2014). Os feldspatos representam o mais abundante grupo de minerais constituintes das rochas ígneas. São constituintes principais de pegmatitos simples e são comuns em filões minerais. Também podem ocorrer em rochas que sofreram metamorfismo térmico ou regional e também são importantes constituintes de sedimentos (detritos) menos antigos, sendo terrígenos mais frequentes nas areias continentais (torrenciais, fluviais e eólicas) do que nas marinhas (Carvalho, 2005). A correlação negativa não significativa entre o par de variáveis feldspato/finos ( $r=-0,03$ ) corrobora os dados descritos por Deer et al. (2014), ao constatar que a importância dos feldspatos nas rochas argilosas é relativamente reduzida, e mais reduzida ainda nas rochas carbonatadas.

As correlações positivas significativas mostradas nos pares de variáveis plagioclase/Na ( $r=0,56$ ) e feldspato potássico/Na ( $r=0,61$ ) pode ser também um indicador da presença destes minerais nos sedimentos.

O Na é um constituinte natural da água do mar que ocorre normalmente na forma de halite ( $\text{NaCl}$ ). A forte correlação positiva entre as variáveis Halite/Na ( $r=0,90$ ) reflete a dependência deste mineral em relação ao Na ou vice-versa.

A calcite é outro mineral, depois de quartzo e siderite, que acompanham a deposição sedimentos finos (Figura 5.28), mas as correlações entre as variáveis calcite/areia ( $r=0,41$ ) e calcite/finos ( $r=0,41$ ) pode indicar que a deposição deste mineral, além de acompanhar os finos também acompanha a deposição de sedimentos mais arenosos.

---

A presença da calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) na fração sedimentar  $<63 \mu\text{m}$  na área de estudo, embora numa forma acessório (3,14%), pode resultar de meteorização das rochas carbonatadas, como por exemplo, calcários de Costa de Arnes, e outros carbonatos, decomposição de conchas e de cimento de rochas sedimentares (arenito, etc.), que ocorrem e afloram na região da área de estudo. Embora muitos cátions bivalentes, como o  $\text{Mg}^{2+}$ , possam substituir parcialmente o cálcio na calcite, a maior parte das calcites está relativamente isenta de outros iões e tem uma posição química bastante próxima de  $\text{CaCO}_3$  (Deer et al., 2014). A correlação positiva significativa mostrada no par de variáveis calcite/Ca ( $r=0,57$ ) mostra que os teores de cálcio são em geral um traçador da presença de calcite nos sedimentos da região.

Os minerais halite, anidrite, siderite, pirite, dolomite, magnetite e hematite, por terem menor expressão quantitativa ( $<2\%$ ), não serão objeto de discussão mineralógica pormenorizada; contudo alguns destes minerais serão analisados em simultâneo com os resultados geoquímicos, descritos a seguir.

### **6.3. Fatores condicionantes da composição geoquímica dos sedimentos na área de estudo**

Os teores de matéria orgânica (MOT) obtidos da fração sedimentar  $<2 \text{mm}$  dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz (Figura 6.1), corroboram os dados descritos por Pomerol et al. (2013), quando afirmam que a matéria orgânica, apresenta, na maior parte do tempo, uma baixa concentração nos sedimentos, estando em menores percentagens nas areias e maiores percentagens nos finos. As correlações positivas significativas entre a matéria orgânica total e as variáveis quartzo e densidade (referidas acima), pirite ( $r=0,59$ ) e a maior parte de elementos maiores e traço reforçam a ideia de formação de aglomerados por floculação e adsorção referenciados acima.

Os teores de carbonatos (médio 3,19%) podem resultar da calcite (3,14%,  $\text{CaCO}_3$ ), siderite (0,72%,  $\text{FeCO}_3$ ) e dolomites ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Há uma forte dependência dos carbonatos em relação aos finos ( $r=0,59$ ), dependência essa que vai diminuindo à medida que os sedimentos se vão tornando mais arenosos (Carbonatos/areia,  $r=0,24$ ). Contudo, os resultados mostram que existe uma ligeira dependência entre os carbonatos e cascalhos ( $r=0,48$ ). Esta correlação pode indicar a fonte dos carbonatos na fração sedimentar em causa, pois, além de calcários, os carbonatos podem resultar de bioclastos de variedade

de espécies marinhas e fluviais-marinhas, que incluem os moluscos (bivalves e gastrópodes). Segundo Deer et al. (2014), muitos organismos com esqueletos calcários, como por exemplo alguns moluscos, podem ter as suas conchas constituídas por aragonite.

Os teores de carbonatos estão distribuídos espacialmente em quase toda extensão da área de estudo; contudo, apresentam os valores relativamente altos em locais afastados da embocadura. Os teores de carbonatos foram classificados de acordo com a proposta de classificação de carbonatos de Moreira (2013) mostrado na Figura 6.2. Observa-se nesta figura os teores baixos (ver a Tabela 4.9, Capítulo 4) encontram-se em quase toda extensão da embocadura, enquanto os teores moderadamente carbonatados encontram-se afastados da embocadura (estações FF5, FF20, FF2, FF23 e FF28).

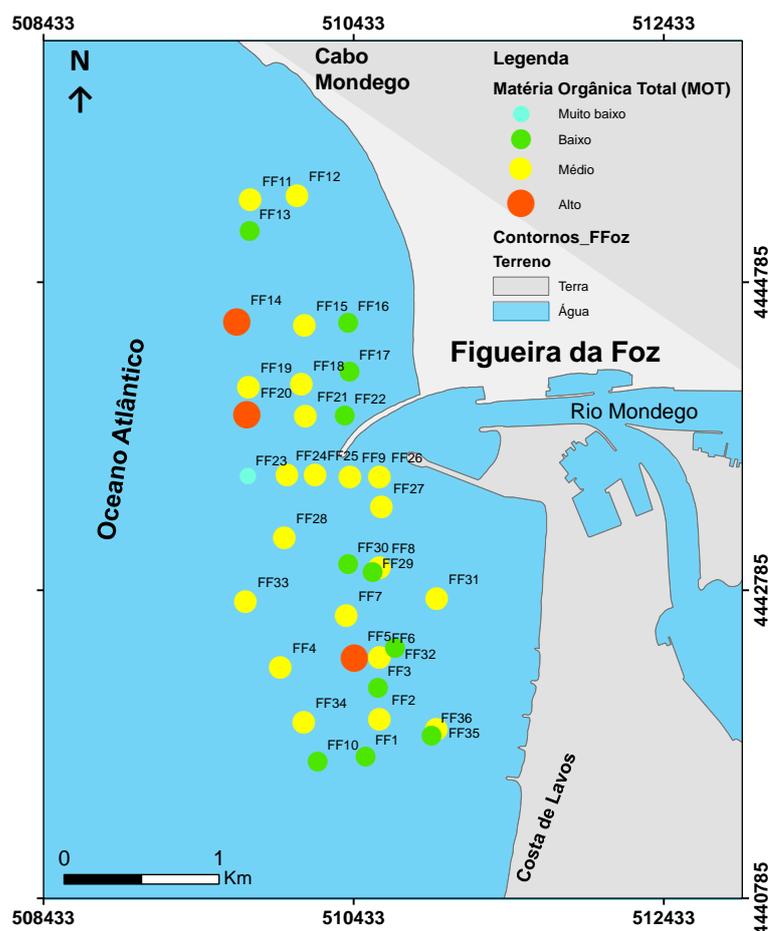


Figura 6.1. Distribuição espacial dos teores de matéria orgânica total (MOT, %) da fração sedimentar <2mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz, classificados de acordo com a classificação de matéria orgânica proposto por Moreira (2013). A cor verde-clara representa nível muito baixo, verde representa nível baixo, amarelo representa nível médio e vermelho representa nível alto.

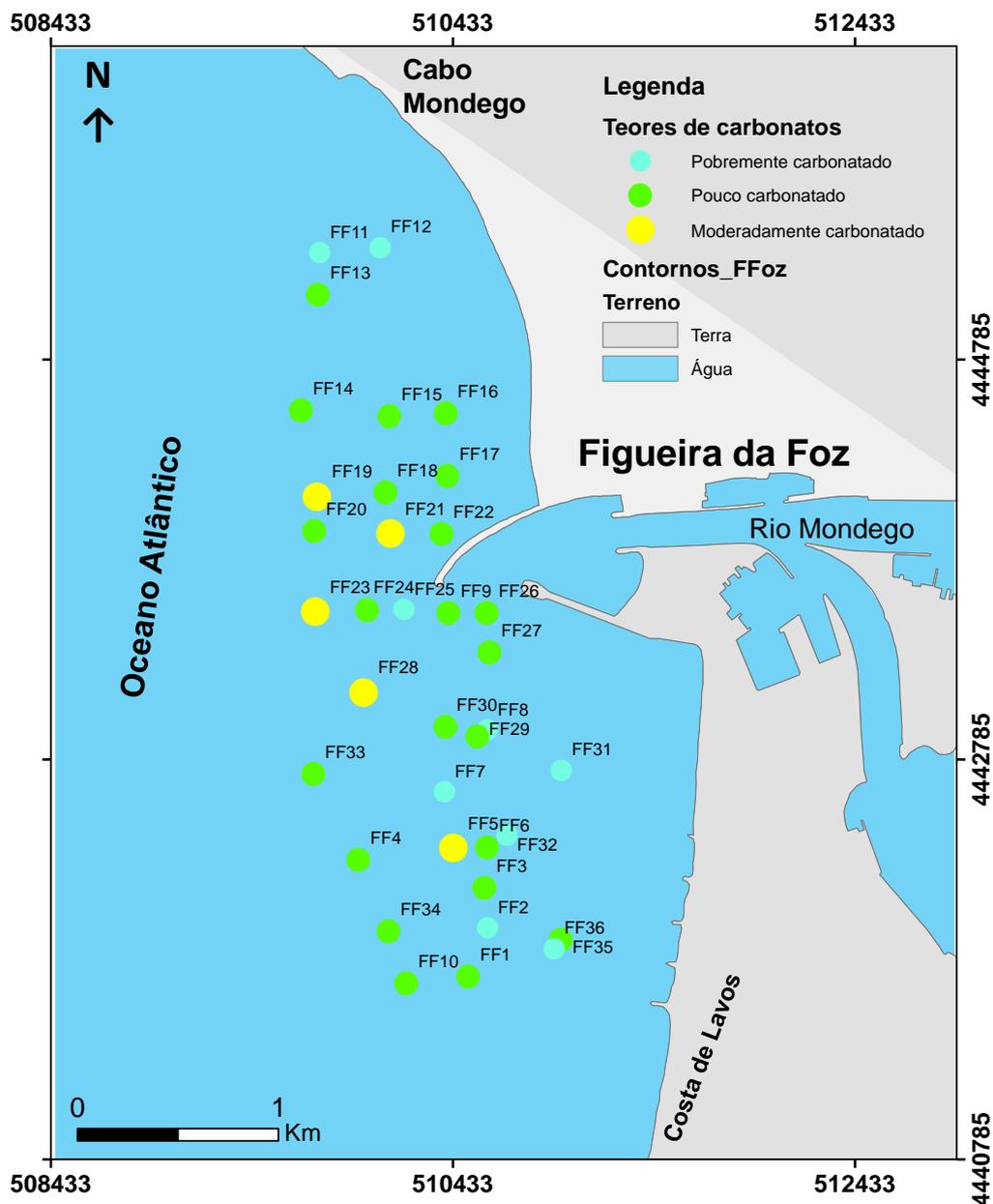


Figura 6.2. Distribuição espacial dos teores de carbonatos (Bioclastos, %) da fração sedimentar <2mm de sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz, classificados de acordo com a classificação de carbonatos proposto por Moreira (2013). A cor verde-claro representa nível pobrememente carbonatada, verde representa pouco carbonatada e amarelo representa nível moderadamente carbonatada

A variabilidade média da composição e concentração dos elementos maiores identificados no presente estudo pode estar relacionada com a geologia regional e local.

É evidente que os metais encontram-se normalmente distribuídos no meio ambiente dado que são constituintes naturais das rochas, sedimentos e solos, todavia, um acréscimo significativo dos seus níveis pode refletir uma poluição antrópica, como por exemplo, níveis de concentração de Cd detetados neste estudo, e analisados a seguir e na secção 6.3. As correlações significativas moderadas a perfeitas mostradas na generalidade entre os pares de variáveis elementos maiores/elementos maiores, elementos-traço/elementos-traço e elementos maiores/elementos-traço que condicionaram a formação de subgrupo 2.2, o subgrupo dos finos (Tabela 5.11, Figura 5.27), pode reforçar a ideia de sedimentos oriundos de fontes comuns ou próximos que sofreram intemperismo, e foram carreados para a embocadura. Os rios constituem uma das mais importantes vias de transportes do material de origem continental natural ou antrópica para as embocaduras e oceanos. Nas embocaduras e estuários, sendo zonas de transição, as concentrações destes metais são extremamente variáveis, tanto no tempo como no espaço. O grau de enriquecimento em metais é dependente do tamanho de partículas do sedimento e conteúdo orgânico. A apetência dos elementos maiores e traço nos sedimentos lodosos e areno-lodosos, associados a matéria orgânica, como foi referenciado nas secções anteriores deste capítulo, pode resultar da ação conjunta das forças das ondas e das correntes, auxiliadas pelos fenómenos de floculação e adsorção (Pryor, 1975; Silvester & Hsu, 1997; Biorede, 2001; Pomerol *et al.*, 2013).

É evidente que a geoquímica dos processos sedimentares reflete reações que ocorrem em presença da água. Nos processos superficiais, os fatores que determinam o comportamento de elementos, como Choudhuri (1997) e Pomerol *et al.* (2013) enumeram, resumem-se no potencial iónico ( $Z/r_i$ ), a propriedade hidrólise e soluções dos elementos, a concentração do ião hidrogénio (pH) e o grau de oxidação (ver Cap. 3).

No presente estudo serão discutidos apenas as ocorrências de Ca, Fe, Mn e Cd, por serem relativamente abundantes nas amostras analisadas. A análise da ocorrência do Ca já foi referenciada, mas importa sublinhar que este é um dos elementos analisados com maior valor médio percentual em todas amostras estudadas. As fontes de Ca na área de estudo podem estar associados à deposição de carbonatos, particularmente, a calcite ( $\text{CaCO}_3$ ). A correlação positiva significativa mostrada no par de variáveis calcite/Ca ( $r=0,57$ ) reforça a ideia da calcite ser a fonte principal de Ca. Estas quantidades de Ca também podem ser acrescidas pelas quantidades de Ca vindas de dissolução de dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), da aragonite ( $\text{CaCO}_3$ , carbonato que compõe esqueletos de muitos

moluscos) e plagioclase (anortite,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), como foi referido anteriormente. A correlação entre as variáveis Ca/Pb ( $r= 0,80$ ) pode refletir a coexistência entre a calcite, aragonite e cerusite (aragonite plumbífera). A correlação entre as variáveis Ca/siderite ( $r= 0,60$ ) também pode sugerir uma deposição de calcite acompanhada de siderite ( $\text{FeCO}_3$ ).

O Fe (1,06%) é o segundo elemento mais abundante nas amostras analisadas, depois do Ca. As suas prováveis fontes na área de estudo podem estar associadas com a deposição (precipitação) de siderite ( $\text{FeCO}_3$ ), pirite ( $\text{FeS}_2$ ), magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). A correlação positiva moderada a significativa entre os pares de variáveis Fe/magnetite ( $r= 0,62$ ) e Fe/pirite ( $r= 0,62$ ) parecem refletir o maior contributo de pirite e magnetite nas quantidades de Fe presentes nas amostras. Contudo, os filossilicatos como as micas podem servir de hospedeiro de Ferro, tal como referido por (Reimann & Caritat, 1998), e conseqüentemente aumentar o incremento deste elemento na área de estudo. Segundo estes autores, as principais barreiras geoquímicas deste elemento são a oxidação, aumento de pH, a precipitação sob forma de óxidos, hidróxidos ou oxi-hidróxidos de ferro e co-precipitação com muitos outros metais. Choudhuri (1997) afirma que as águas do mar são alcalinas, enquanto as dos rios são levemente ácidas. Estas últimas, que geralmente são carregadas de Fe, ao encontrarem as águas do mar a solubilidade baixa e conseqüentemente o Fe precipitará. Como foi referenciado acima e, segundo os autores Choudhuri (1997) e Pomerol et al. (2013), à semelhança de Fe, a solubilidade de Mn é influenciada pelo grau de oxidação, devido à sua múltipla valência. A oxidação de  $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$  aumenta seu potencial ( $Z/r_i$ ) iónico e resulta na precipitação de  $\text{Fe}^{3+}$ . A oxidação de  $\text{Mn}^{2+}$  para  $\text{Mn}^{4+}$  aumenta seu potencial iónico e se precipita em forma hidrolisada de  $\text{Mn}^{4+}$ . Portanto, esses elementos no estado reduzido são móveis em diversos ambientes naturais, mas ao se oxidarem sua mobilidade é reduzida e precipitam como óxidos de ferro e manganês.

O Mn (108,14  $\text{mgkg}^{-1}$ ) é o elemento-traço mais abundante nas amostras analisadas, por isso, é merecido seu destaque nesta discussão. As fontes prováveis deste elemento são depósitos sedimentares carbonatados que ocorrem associados à matéria orgânica, minerais de origem gráfitica e muitas vezes com argilas, como a rodocrosite ( $\text{MnCO}_3$ , não identificado no presente estudo). A correlação positiva e significativa de Mn por finos, matéria orgânica e carbonatos mostrada nas respetivas correlações positivas significativas moderadas e fortes (Mn/MOT,  $r=0,66$ ; Mn/Carb,  $r= 0,75$ , e Mn/finos,  $r= 0,87$ ) pode reforçar a ideia de incorporação dos minerais de manganês nestes materiais.

---

As fortes correlações positivas mostradas nas variáveis Mn/Cu ( $r=0,93$ ), Mn/Ni ( $r=0,97$ ), Mn/Co ( $r=0,99$ ), Mn/Fe ( $r=0,99$ ), Mn/Zn ( $r=0,997$ ) pode indicar a tendência natural de minerais de Mn em formarem associações ou nódulos com estes elementos, geralmente, ricos em Fe e Co (Reimann & Caritat, 1998).

O Cd ( $3,49 \text{ mgkg}^{-1}$ ) é o décimo elemento-traço mais abundante nas amostras analisadas. De modo semelhante ao Ca e U, é o elemento que apresenta um comportamento diferente de outros elementos identificados no presente estudo, pois quando correlacionado com outros metais apresenta, em geral, correlações fracas (Tabela 5.11). Os minerais típicos de Cd são a greenockite ( $\text{CdS}$ ), octavite ( $\text{CdCO}_3$ ) e monteponite ( $\text{CdO}$ ). No entanto, nenhum destes minerais foi identificado nas amostras analisadas. Embora o Cd tenha uma tendência natural para se associar-se ao Zn, sendo geralmente, substituído por este, e substituir  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  (Reimann & Caritat, 1998), as prováveis fontes de Cd na área de estudo não parecem refletir a origem de deposição por meteorização das rochas. Parece mais provável a introdução deste elemento por ação antrópica. Os resultados mostram que a ocorrência deste elemento é condicionada pelo aumento de tamanho de grãos das partículas sedimentares. As correlações entre as variáveis Cd/média granulométrica ( $r=0,67$ ) e Cd/ areia ( $r=0,64$ ) pode reforçar a ideia de apetência deste elemento em sedimentos mais arenosos, detríticos ou grosseiros. Como já se referido ao longo deste trabalho, os sedimentos grosseiros localizam-se próximos da embocadura, é possível que o Cd introduzido nos sedimentos seja carregado e depositado na embocadura sem sofrer muita mobilidade para áreas mais distantes e mais profundas.

Uma das potenciais formas de introdução de materiais nos ecossistemas aquáticos pela ação antrópica relaciona-se com a atividade portuária e com a construção e reparação naval. Segundo (EP-PNAAS, 2012), a navegação ao longo da costa continental portuguesa, a lavagem de tanques em ar aberto, portos comerciais localizados em meio urbanos e intensos fluxos de transportes de mercadorias, movimentação de cargas perigosas e acidentes marítimos podem ser potenciais ameaças de poluição dos fundos marinhos.

#### **6.4. Avaliação da aptidão ambiental e possível utilização industrial dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz**

Avaliando os teores químicos do material dragado (sedimentos) na embocadura do Porto da Figueira da Foz com base na Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, nota-se que na sua maioria, com a exceção de Cádmio, são da classe 1, ou seja correspondem a material dragado limpo que pode ser depositado no meio aquático ou repostos em locais sujeitos a erosão ou utilização para alimentação de praias sem normas restritivas. No entanto, este material apresenta fatores de enriquecimento em teores de Cádmio que se enquadram na classe 2 (material dragado com contaminação vestigial), classe 4 (material dragado contaminado) e classe 5 (material dragado muito contaminado) (Tabelas 6.1 e 6.2). A Figura 6.3 mostra a distribuição espacial do Cd e a respetiva designação quanto aptidão ambiental. Os locais de área de estudo mais enriquecidos por este elemento são FF18 (11,48 mgkg<sup>-1</sup>, classe 5), FF24 (6,80 mgkg<sup>-1</sup>, classe 4), FF13 (6,14 mgkg<sup>-1</sup>, classe 4) e FF33 (5,33 mgkg<sup>-1</sup>, classe 4), sendo proibido a sua dragagem e imersão, respetivamente. No entanto, os sedimentos dos locais menos enriquecidos de Cd são FF3, FF14, FF15, FF19, FF20 e FF23 (classe 2, contaminação vestigial) e estes sedimentos podem ser imersos no meio aquático tendo em conta as características do meio receptor e o uso legítimo do mesmo. Os sedimentos não contaminados por Cd (FF5, FF28 e FF34, ver a área de contorno verde na Figura 6.3), e por serem compatíveis à classe 1, que podem ser depositados no meio aquático, utilizado em locais sujeitos a erosão ou na alimentação de praias sem quaisquer restrições. Embora fora do âmbito deste trabalho, vale realçar que outros parâmetros comumente utilizados para determinar o destino dos sedimentos dragados, e que são complementares para os resultados deste estudo, como PCH (Soma), HCB (Soma), HCB e a toxicidade de substâncias nos organismos devem ser considerados.

Os locais de imersão no mar são determinados pela autoridade competente, atendendo, nomeadamente, à existência de zonas definidas de produção de moluscos bivalves entre a linha de costa e de batimetria dos 40 m (Despacho n.º 16 167/2005, de 25 de Julho, apud Portela, 2011 in Coelho et al., 2011), havendo, no entanto, custo em função das distâncias entre o local de dragagem e imersão: quanto maior a distância entre os locais de dragagem e os locais de imersão, maiores os custos envolvidos.

O cádmio apesar das inúmeras aplicações industriais e na vida do ser humano, quando elevada a sua quantidade pode provocar diversos problemas ambientais. É um elemento com efeito de biomagnificação (acumulação progressivo de substâncias de um nível trófico para outro ao longo da teia alimentar). É um potencial agente cancerígeno para os seres humanos. Portanto, os seres humanos podem estar sujeitos a uma contaminação tanto por via digestiva quanto por via respiratória (Tabela 6.3). A contaminação decorre da presença de significativos níveis de substâncias perigosas provenientes das actividades humanas e que representam um risco significativo para a saúde humana e/ou para o ambiente (EP-PNAAS, 2012).

De um modo geral, um tóxico ou toxina é um agente que pode provocar, no sistema biológico, uma resposta ou efeito adverso, levando a alterações perniciosas na sua estrutura ou função, ou provocar a morte. Essa resposta adversa é, normalmente, definida em termos de uma medida que se encontra fora da gama normal de respostas inerente à variabilidade intrínseca dos sistemas biológicos (Soares & Abreu, 2011 in Coelho et al., 2011). Uma substância química, muito inócua que seja, pode sempre exercer efeitos prejudiciais, se entrar para o alvo biológico em quantidade suficiente. Pelo contrário, a absorção de pequenas quantidades de substâncias consideradas tóxicas poderá não produzir qualquer efeito tóxico visível. (Soares & Abreu, 2011 in Coelho *et al.*, 2011). Portanto, estes autores consideram que nenhuma substância é totalmente inócua ou tóxica. O que vai determinar a inocuidade ou toxicidade de uma substância é a relação entre a concentração (quantidade) da substância a que o alvo está exposto, e o tempo de exposição. A medida da severidade da resposta resultante dessa exposição é a relação concentração/resposta. Assim, a toxicidade é uma propriedade relativa de um tóxico, que indica o seu potencial para provocar um efeito pernicioso. É função da concentração da substância e da duração de exposição.

Importa sublinhar que não é objetivo deste estudo analisar as normas e/ou estratégias de gestão de recursos hídricos e sedimentares. Contudo, é importante referir que a contínua gestão integrada intersectoriais destes recursos que incentiva uma protecção dos sedimentos por uma adequada utilização dos recursos hídricos, com um foco na gestão sustentável, parece ser medida certa para a promoção de um bom estado do ambiente.

Tabela 6.1. Classificação ambiental dos sedimentos quanto ao seu teor em Cádmio, adaptado do anexo III da Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro

Parâmetro (mg/kg)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Cádmio	<1	[1 - 3[	[3 - 5[	[5 - 10]	>10

Tabela 6.2. Teores de Cádmio na fração sedimentar (&lt;63 µm) e respetivos pontos enriquecidos e não enriquecidos, comparados a partir de valores de referências da Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro

Amostra	[Cd] (mgkg <sup>-1</sup> )	Valor de Referência (mgkg <sup>-1</sup> ) <sup>1)</sup>	Qualificação
FF1	5,59	<1	Classe 4
FF3	2,99	<1	Classe 2
FF5	0,19	<1	Classe 1
FF13	6,14	<1	Classe 4
FF14	2,78	<1	Classe 2
FF15	1,35	<1	Classe 2
FF18	11,48	<1	Classe 5
FF19	2,20	<1	Classe 2
FF20	1,43	<1	Classe 2
FF23	1,24	<1	Classe 2
FF24	6,80	<1	Classe 4
FF28	0,83	<1	Classe 1
FF33	5,33	<1	Classe 4
FF34	0,57	<1	Classe 1

Tabela 6.3. Caracterização, via de exposição e principais efeitos de Cd (Adaptado de EP\_PNAAS, 2012)

Substância	Caracterização geral	Via de exposição	Principais efeitos
Cádmio (Cd)	O Cd é tóxico por inalação e por ingestão. É um potencial agente cancerígeno para os seres humanos.	Via digestiva	A ingestão a “curto prazo” pode causar problemas de estomago, inchaço da face, pescoço e garganta, dificuldade em respirar e, em casos raros, pode ser letal; a ingestão a “longo prazo” leva a insuficiência renal.
		Via respiratória	A inalação a “curto prazo” pode causar irritação das vias respiratórias, falta de ar ou dores de cabeça; a inalação a “longo prazo” provoca insuficiência renal e diminui a função pulmonar.

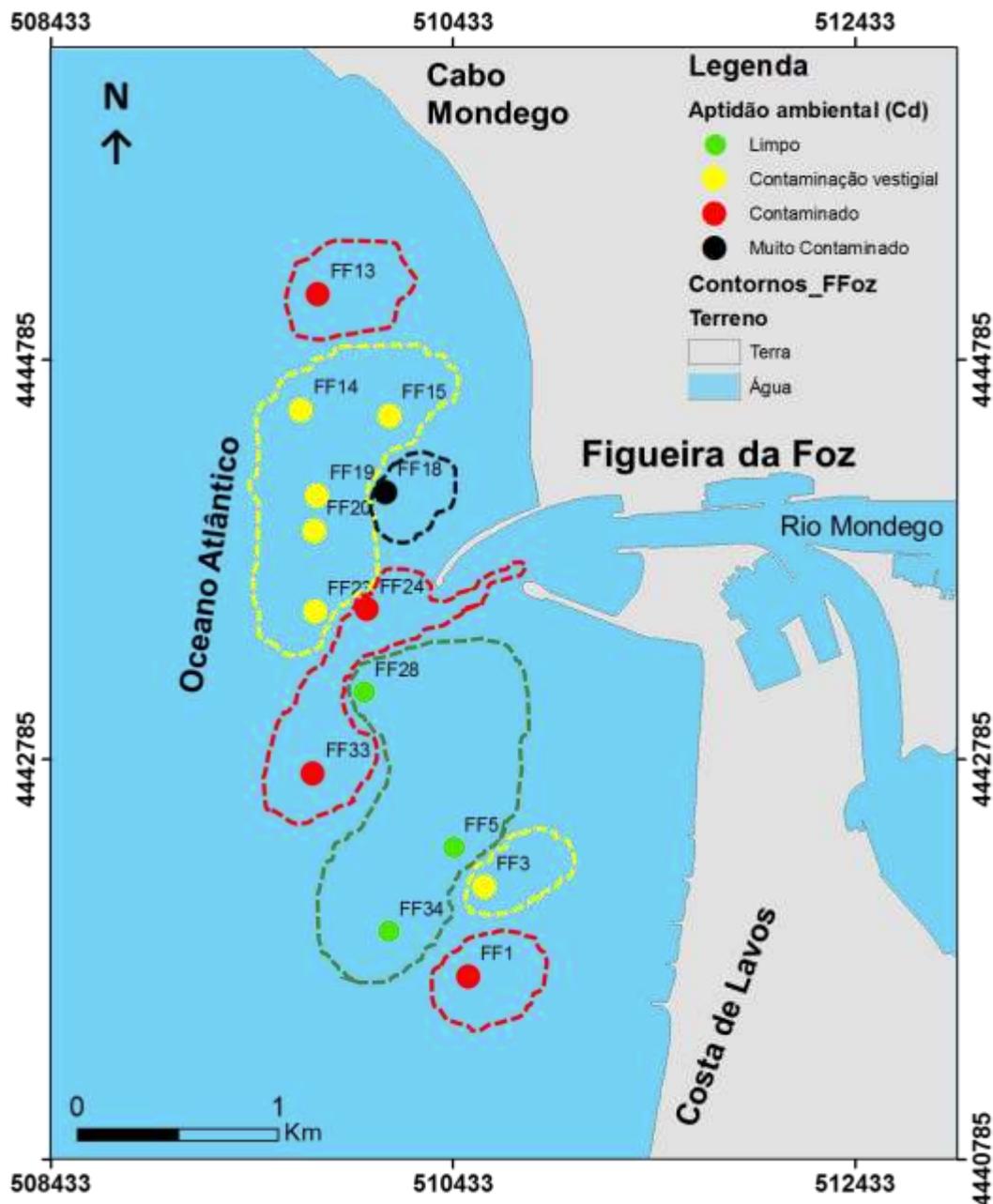


Figura 6.3. Distribuição espacial da qualificação da aptidão ambiental dos sedimentos da embocadura do Porto de Figueira da foz quanto ao teor de Cádmio, segundo Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro. A cor preta representa zona muito contaminado (classe 5), vermelha indica pontos/ zonas contaminados (classe 4), amarelo indica zonas com contaminação vestigial (classe 2) e verde indica zona com ausência de contaminação (classe 1).

---

**CAPÍTULO 7. CONCLUSÕES****7.1. Conclusões**

Do presente estudo foi possível retirar as seguintes conclusões relativas à caracterização granulométrica, mineralógica e geoquímica dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz, delimitada a norte pelo Cabo Mondego e sul por Costa de Lavos:

- A análise granulométrica da fração total de 36 amostras de sedimentos de fundo permitiu constatar o predomínio de fração arenosa (94,6%), contendo uma quantidade escassa de finos e de cascalhos. Estes sedimentos arenosos estão divididos em 4 classes principais: areia fina (38,89%), areia média (36,11%), areia grosseira (13,89%) e areia muito fina (11,11%). Estes são moderadamente calibrados (47,22%), com uma distribuição geralmente simétrica (44,44%), mesocúrtica (33,33%) e com o valor médio de densidade de 1,63 g/cm<sup>3</sup>.
- A utilização de dados de sonar de varrimento lateral integrados com os dados granulométricos das amostras pontuais de sedimentos da área de estudo permitiu obter uma cartografia detalhada dos vários tipos de sedimentos de fundo na área de estudo. As classes de areia fina e muito fina encontram-se mais afastadas e nas zonas mais profundas da embocadura, como o resultado mais provável da redução de energia do agente de transporte e da ação conjunta das ondas e correntes das marés.
- A mineralogia da fração sedimentar (<63 µm) de 14 amostras de sedimentos revela o quartzo (54,74%) como o mineral mais abundante. Este mineral é seguido por filossilicatos (20,43%), plagioclase (10,26%), feldspato potássico (7,60%), calcite (3,14%), halite (1,10%), anidrite (1,02%). A plagioclase, feldspato potássico e a calcite apresentam valores relativamente altos próximos da embocadura. A percentagem de filossilicatos aumenta de uma forma geral nas estações mais distantes da embocadura, se bem que pareça igualmente haver um ligeiro aumento para sul. Os minerais siderite, pirite, dolomite, magnetite e hematite são vestigiais nas amostras analisadas, com percentagens inferiores a 1%. Essa composição parece certamente relacionada com a geologia regional e local da área de estudo. O quartzo correlaciona-se fracamente com a plagioclase e feldspato potássico, e aparece associado com os materiais mais finos, matéria orgânica e carbonatos. Contrariamente, a plagioclase e feldspato potássico aparecem associados com o aumento de tamanho médio de grãos das partículas

sedimentares. Os filossilicatos aparecem associados aos grosseiros, mas também correlacionam-se positivamente com os finos, matéria orgânica e carbonatos, mas com uma correlação fraca em comparação com a correlação do par de variáveis quartzo/finos.

- Os teores de matéria orgânica são médios (3,21%) nas amostras estudadas. Os teores altos encontram-se afastados da embocadura. Os teores de carbonatos são baixos, com a média de 3,19%. Similarmente à matéria orgânica, os teores relativamente altos de carbonatos (sedimentos moderadamente carbonatados) também se encontram afastados da embocadura. Estas variáveis encontram-se significativamente relacionadas com os finos.
- De um modo geral, a distribuição dos elementos maiores Ca, Fe, Al, Mg e K assemelha-se à distribuição dos elementos traço Mn, Zn, Ba, Cr, V, Ni, Pb, As, Cu, Co, Tl e Ag. A sua concentração aumenta à medida que as estações se vão distanciando da embocadura, particularmente, em direção à Costa de Lavos. No entanto, o Cd tende a aumentar em direção ao Cabo Mondego. O Ca é o elemento maior mais abundante nas amostras analisadas. No que respeita aos elementos-traço, o Mn é o mais abundante nas amostras analisadas. Com exceção de Cd, Na e U, todos os elementos maiores e traço detetados neste estudo aparecem associados aos finos e matéria orgânica.
- Avaliando os teores químicos do material dragado (sedimentos) na embocadura do Porto da Figueira da Foz com base à Portaria n.º 1450/2007, de 12 de Novembro, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, constata-se que na sua maioria, com a exceção de Cádmio, os teores dos outros elementos são compatíveis com a classe 1, material dragado limpo que pode ser depositado no meio aquático ou repostado em locais sujeitos a erosão ou utilização para alimentação de praias sem normas restritivas. No entanto, o Cd apresenta fatores de enriquecimento nas amostras analisadas com valores muito altos em relação à referência (<1 mg/kg). Os locais de área de estudo mais enriquecidos por este elemento são FF18 (classe 5, muito contaminado; idealmente não deve ser dragado, mas no caso imperativo deve ser submetido a tratamento prévio e depositado num aterro de resíduos devidamente autorizado, sendo proibida a sua imersão), FF24, FF13 e FF33 (classe 4, contaminado; estes materiais devem ser colocados em terra, num local

impermeabilizado, sendo recomendada uma posterior cobertura com solos impermeáveis). No entanto, os locais menos enriquecidos são FF3, FF14, FF15, FF19, FF20 e FF23 (classe 2, contaminação vestigial) e estes sedimentos podem ser imerso no meio aquático tendo em conta as características do meio recetor e o uso legítimo do mesmo. Já os locais com ausência de contaminação são FF5, FF28 e FF34. Os sedimentos destas últimas estações (área de contorno verde, Figura 6.3), por serem compatíveis à classe 1, que podem ser depositados no meio aquático, utilizado em locais sujeitos a erosão ou na alimentação de praias sem quaisquer restrições.

## 7.2. Trabalhos futuros

Dada a existência do enriquecimento de teores de Cd em 85,71% das 14 amostras analisadas, é muito importante realizar a monitorização na área de estudo, com uma amostragem com maior densidade que a área coberta por amostragem deste estudo, com a finalidade de obter a geoquímica de sedimentos, tanto da fração <63 µm como >63 µm, o que seria uma ferramenta adicional para uma gestão mais abrangente dos sedimentos dragados na embocadura e/ou no estuário do rio Mondego. Seria também importante colher sedimentos em diferentes fases do ano, de preferência conjugados com levantamentos de sonar de varrimento lateral, de forma a analisar se se observa por exemplo uma variação significativa na distribuição dos vários tipos de sedimentos no verão e no inverno.

A realização de furos de sondagens na área em causa contribuiria para a obtenção da história de contaminantes. Também seria importante a realização das análises de Espectrometria de Fluorescência de Raios X nas amostras de sedimentos do fundo e amostras obtidas de sondagens para fins de obtenção de óxidos para a determinação de índice de alteração química e a origem dos sedimentos. A partir dos meios disponibilizados no laboratório de geoquímica da Universidade de Aveiro (Digestão Ácida Parcial dos Sedimentos) não foi possível detetar por ICP-MS a presença de Be, Si, e metais ligados a silício, por isso seria mais-valia a realização de Digestão Ácida Total dos sedimentos, com vista a obtenção destes elementos. Também é recomendável e importante para a caracterização dos sedimentos para fins diversos e utilização industriais, a realização das análises de PCB (Soma), PAH (Soma), HCB, e de toxicidade, persistência e acumulação de tóxicos em seres vivos.

---

**Referências bibliográficas**

- Abecasis, F., Matias, M. F., Carvalho, J. J., & Vera-Cruz, D. (1962). Methods of determining sand and silt movement along the coast, in estuaries and in maritime rivers. *Lab. Nac. Eng. Civil. Technical, Lisboa, 1*, 25 pp.
- Abrantes, M. (2005). *Os sedimentos superficiais da margem continental, sector Espinho - Cabo Mondego: a utilização das fracções finas como traçadores de dinâmica sedimentar actual. Departamento Geociências*. Universidade de Aveiro. Tese de Doutoramento, 239 pp. <http://hdl.handle.net/10773/2741>.
- Aguiar, J. E., Marins, R. V., & Almeida, M. D. (2007). Comparação de metodologias de digestão de sedimentos marinhos para caracterização da geoquímica de metais-traço na plataforma continental nordeste oriental brasileira. *Geochimica Brasiliensis*, 21(3), 304–323. <http://www.sbgq.org.br/arquivos/art10158.pdf>
- Albers, A. P. F., Melchiades, F. G., Machado, R., Baldo, J. B., & Boschi, A. O. (2002). Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica*, 48(305), 34–37. <http://doi.org/10.1590/S0366-69132002000100008>. ISBN 0366-6913.
- Bacelar-Nicolau, P., Nicolau, L. B., Marques, J. C., Morgado, F., Pastorinho, R., & Azeiteiro, U. M. (2003). Bacterioplankton dynamics in the Mondego estuary (Portugal). *Acta Oecologica*, 24(SUPPL. 1), 67–75. [http://doi.org/10.1016/S1146-609X\(03\)00016-X](http://doi.org/10.1016/S1146-609X(03)00016-X). ISBN 1146609X.
- Badagola, A. (2008). *Evolução morfo-tectónica da plataforma continental do Esporão da Estremadura*. Universidade de Lisboa. Tese de Mestrado, 171 pp.
- Baggio, H. (2010). Teores totais e distribuição dos metais pesados Cu, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn nos sedimentos de corrente e fundo do rio do Formoso – MG. *Geografias*, 6(1), p. 107–117.
- Baggio, H., & Horn, A. H. (2012). Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados na água superficial e em sedimentos de corrente no Rio do Formoso, município de Buritizeiro - Minas Gerais, Brasil. *Comunicações Geológicas*, 99(2), p. 71–78. ISSN 1647581X.
- Barreto, E. P., Do, V., Vaz, A., Gregório, M. D. N., Fabrício, C., Da, A., Ferreira, B., Oliveira, P. F. P. De. (2015). Zona costeira do estado de Pernambuco: caracterização ambiental, sedimentar, textural e composicional da praia de São José Da Coroa Grande. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(5), p. 1303–1320.
- Biorede. (2001). Sedimentos. Retrieved August 25, 2016. <http://www.biorede.pt/text.asp?id=309>
- Blondel, P. (2009). *The Hand Book of Sidescan Sonar*. Chichester. *Springer-Praxis*, 318pp.
- Blott, S. J., & Pye, K. (2001). Technical Communication Gradistat : a Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments, 26, 1237–1248. *Earth Surface Processes and Landforms*. DOI: 10.1002/esp.261.
- Boillot, G., & Capdevila, R. (1977). The Pyrenees: Subduction and collision? *Earth Planet Sci. Lett.*, 35, 151–160.
- Bray, R. N. (ed.) (2008). *Environmental Aspects of Dredging*. IADC/CEDA, Taylor & Francis,

London, 400pp. ISBN 978-0-415-45080.

Brils, J. (2008). Sediment monitoring and the European Water Framework Directive, 44(3), 218–223. ANN IST SUPER SANITÀ. [http://alleanzacontroilcancro.it/binary/publ/cont/218-ANN\\_08\\_31\\_Brils.1224495496.pdf](http://alleanzacontroilcancro.it/binary/publ/cont/218-ANN_08_31_Brils.1224495496.pdf)

Brindley, G. W., & Brown, G. (1980). *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*. G. W. Brindley & G. Brown, Eds. 5th ed. London: Mineralogical Society. ISBN 0903056089.

Brito, A., & Pena, A. (2007). Population Structure and Recruitment of Penaeid Shrimps from the Pungué River Estuary to the Sofala Bank Fishery, Mozambique. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.*, 6(2), 147–158.

[https://www.academia.edu/9570037/Population\\_Structure\\_and\\_Recruitment\\_of\\_Penaeid\\_Shrimps\\_from\\_the\\_Pungué\\_River\\_Estuary\\_to\\_the\\_Sofala\\_Bank\\_Fishery\\_Mozambique](https://www.academia.edu/9570037/Population_Structure_and_Recruitment_of_Penaeid_Shrimps_from_the_Pungué_River_Estuary_to_the_Sofala_Bank_Fishery_Mozambique)

Caetano, P. do C. de S. (2004). *Mineralogia e Geoquímica de Sequências Sedimentares do Juarássico-Cretássico da Bacia Lusitaniana*. Universidade Nova de Lisboa, 333pp. Tese de Doutoramento.

Carvalho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Universidade de Aveiro, 404pp. Tese de Doutoramento.

Carvalho, A. M. G. de. (2005). *Geologia Sedimentar Volume II- Sedimentologia*. Âncora editora (1ª Edição). Lisboa, Portugal, 475pp.

Castro, S. M. de, & Almeida, J. R. de. (2012). Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. *Sociedade & Natureza*, 24(3), 519–533. <http://www.scielo.br/pdf/sn/v24n3/v24n3a11.pdf>

Chang, C. Y., Hsu, S. K., & Tsai, C. H. (2010). Sidescan Sonar Image Processing: Correcting Brightness Variation and Patching Gaps. *Journal of Marine Science and Technology*, 18, 785–789.

Chavez, P. S., Isbrecht, J., Galanis, P., Gabel, G. L., Sides, S. C., Soltesz, D. L., Ross S. L., Velasco, M. G. (2002). Processing, mosaicking and management of the Monterey Bay digital sidescan-sonar images. *Marine Geology*, 181, 305–315.

Choudhuri, A. (1997). *Geoquímica para Graduação*. (C. S. P. Teixeira, V. A. Albino, C. R. Scanavini, A. Tristão, & V. Camargo, Eds. Coleção Livro-texto. São Paulo, Brasil: Editora da Unicamp.

Cobra, D. T. (1992). Geometric Distorsions in Side-Scan Sonar Imags: a Procedure fo their Estimation and Correction. *IEE Journal Of Oceanic Engeneering*, 17(3), 252–266. <http://doi.org/10.1109 / 48.153442>

Coelho, C. (2011). Dinâmica Sedimentar. In C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves (Eds.), *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*, 97–118. Universidade de Aveiro.

Coelho, C., Silva, P. A. da, Pinheiro, L. A., & Gonçalves, D. S. (2011). *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves, Eds. Aveiro. Universidade de Aveiro.

- Collier, J. S., & Brown, C. J. (2005). Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. *Marine Geology*, 214, 431–449.
- CONSULTEC. (2007). *Estudo Ambiental simplificada de dragagem no Canal de Acesso ao Porto da Beira. DIRECÇÃO DE ENGENHARIA DOS PORTOS E CAMINHOS DE FERRO DE MOCAMBIQUE* (Vol.1). Beira, Moçambique.
- Costa, M., Silva, R., & Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Associação Nacional de Navegação, 2ª Jornada. Sines, Portugal*.
- Couceiro, M. A. A. (2015). *Dinâmica de sedimentos coesivos em um estuário altamente estratificado: rio Araranguá, SC*. Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21136/tde-24062015-145812/pt-br.php>
- Cruz, M. A. S., Santos, L. T. S. D. O., Lima, L. G. L. M., & Jesus, T. B. De. (2013). Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos como suporte para análise de contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA). *Geochimica Brasiliensis*, 27(1), 49–62. <http://doi.org/10.5327/Z0102-9800201300010005>
- Cunha, P. P. (1999). Erosão no Troço Costeiro Cabo Mondego - Figueira da Foz: Controlos Naturais/antrópicos e Implicações na Gestão do Litoral e das Adjacentes Bacias Hidrográficas. In *IV Simpósio de Hidráulica e Recursos hídricos dos países de língua oficial portuguesa (Comunicações)*. Coimbra, Portugal.
- Cunha, P. P., & Dinis, J. (1998). A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998. *Territorium*, 5, 31–50.
- Cunha, P. P., Dinis, J., Silva, A. F., & André, J. N. (1995). Evolução estuarina condicionada por intervenções portuárias: Modificações recentes no sector intermédio e distal do estuário do Mondego. *Memórias E Notícias*, 120, 95–117. [https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/15213/1/1995Cunha\\_etal\\_MN120.pdf](https://eg.sib.uc.pt/bitstream/10316/15213/1/1995Cunha_etal_MN120.pdf)
- Davis, K. S., Slowey, N. C., Stender, I. H., Fieder, H., Bryant, W. R., & Fechner, G. (1996). Acoustic backscatter and sediments textural properties of inner shelf sands, northeastern Gulf of Mexico. *Geo-Marine Letters*, 16, 273–278.
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2014). *Minerais Constituintes das Rochas: uma introdução*. W. A. Deer, R. A. Howie, & J. Zussman, Eds. 5ª edição. FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN, Gráfica de Coimbra, Lda. Coimbra, Portugal.
- Dias, J. A. (2004a). *A ANÁLISE SEDIMENTAR E O CONHECIMENTO DOS SEDIMENTOS MARINHOS*. J. A. Dias, Ed. Universidade do Algarve. Algarve-Faro. [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimA\\_intr.pdf](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimA_intr.pdf)
- Dias, J. A. (2004b). III. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA. In J. A. Dias, Ed. *A Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Universidade do Algarve. Algarve-Faro
- Dias, J. A., & Carvalho, A. M. G. (2004). III.2. *A Curva Granulométrica*. Âncora editora, Ed. 1ª Edição. *A Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Universidade do Algarve. Algarve-Faro.
-

- Dias, J. M. A., Boski, T., Rodrigues, A., & Magalhães, F. (2000). Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present - A synthesis. *Marine Geology*, 170(1–2), 177–186. [http://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00073-6](http://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00073-6)
- Dias, R., & Ribeiro, A. (1995). The Ibero-Armorican Arc: a collisional effect against an irregular continent? *Ectonophysics, Elsevier, Amsterdam*, 246, 113–128.
- DöBereiner, C. (1982). *Aggregation and deposition of fine particles in the Tay estuary*. University of Dundee, Scotland, UK.
- Duane, D. B. (1964). Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology, Western Pamlico Sound, North Carolina*, 34, 864–874.
- Eisma, D. (1986). Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20, 183–199.
- EP-PNASS. (2012). *Relatório de Atividades da EP solo e Sedimentos 2009/2011*. Vol. 1. Lisboa, Portugal.
- Essington, M. E. (2015). *Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach, Second Edition*. B. Raton, Ed. 2, ilustra ed. CRC Press.
- Falcão, L. C., & Neto, A. A. (2010). Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, Sul da Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28(2), 279–289. <http://doi.org/10.1590/S0102-261X2010000200011>
- Fernando, P. (2007). *Estudo das fracções arenosas dos sedimentos do litoral Tróia - Sines*. Universidade de Aveiro. Dissertação de Mestrado. <http://ria.ua.pt/handle/10773/2703>
- Ferreira, A. M. P. J. (2000). Capítulo 2, Caracterização de Portugal Continental. Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional. *Lneg*. <http://www.lneg.pt/download/3259/cap2.pdf>
- Ferreira, Ó. (1993). *Caracterização dos principais fatores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego*. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
- Folk, R. R. L., & Ward, W. W. C. (1957). Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. *SEPM Journal of Sedimentary Research*. <http://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Fournier, J., Baltzer, A., Godet, L., & Panizza, A. de C. (2010). Acoustic imagery for benthic habitats mapping and monitoring. *Geomatic Solutions for Coastal Environments*, v, 141–161. <Go to ISI>://WOS:000284241300005. ISBN 978-1-61668-140-1.
- Freire, P., Oliveira, F. S. B. F., Capitão, R., & Fortes, C. (2004). Cross-shore Evolution of Buarcos Beach, Portugal. *J.M. Smith, Ed. Proc. 29th International Conference on Coastal Engineering, ASCE*, 3, 2314–2326.
- Friedman, G. M. (1967). Dynamic processes and statistical parameters compared for size
-

- frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, 327–354. <http://www.abebooks.com/Dynamic-Processes-Statistical-Parameters-Compared-Size/869476907/bd>
- Galdeano, A., Moreau, M. G., Pozzi, J. P., Berthou, P. Y., & Malod, J. A. (1989). New Paleomagnetic Results from Cretaceous Sediments near Lisbon (Portugal) and Implications for the Rotation of Iberia. *Earth and Planetary Science Letters*, 92(1), 95–106.
- Golf, J. A., Olson, H. A., & Duncan, C. S. (2000). Correlation of side-scan backscatter intensity with grain-size distribution of shelf sediments. *New Jersey Margin. Geo-Marine Letters*, 20, 43–49.
- Gomes, F. C. (1988). *Argilas. O que são e para que servem*. F. C. Gulbenkian, Ed.. Lisboa.
- Gomes, F. C. (1990). Minerais Industriais, Matérias Primas Cerâmicas. *Instituto Nacional de Investigação Científica*, 247.
- Guilherme, L. R. G., Marques, J. J., Oliveira, A. A. De, Zuliani, D. Q., Campos, M. L., & Marchi, G. (2005). Elementos-Traço Em Solos E Sistemas Aquáticos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 27(3), 345–390. <http://doi.org/10.13140/2.1.4821.1524>
- Habte, G., Hwang, I. M., Kim, J. S., Hong, J. H., Hong, Y. S., Choi, J. Y., Nho, E. Y., Jamila, N., Kim, K. S. (2016). Elemental profiling and geographical differentiation of Ethiopian coffee samples through inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES), ICP-mass spectrometry (ICP-MS) and direct mercury analyzer (DMA), 212, 512–520. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.178>
- Henriques, V., Mendes, B., Pinheiro, L. M., Gonçalves, D., & Long, D. (2012). Recommended Operating Guidelines (ROG) for sidescan sonars. *MeshAtlantic*, 24.
- Huff, L. C. (2008). Acoustic Remote Sensing as a Tool for Habitat Mapping in Alaska Waters, 29–46. <http://doi.org/10.4027/mhmta.2008.03>
- IPMA, I. P. do M. e da A. (2016). Normais Climatológicos. Retrieved October 27, 2016, from <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- Jackson, M. L. (2005). *Soil Chemical Analysis: Advanced course*. P. Barak, Ed. 2nd ed. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, Madison Libraries.
- Johnson, H. P., & Helferty, M. (1990). The Geological Interpretation of Side Scan Sonar. *Reviews of Geophysics*, 28(4), 357–380.
- Jones, J. (1999). *Marine Geophysics*. Wiley, 466.
- Krank, K. (1984). The role of flocculation in the filtering of particle matter in estuaries. In: KENNEDY, V. S., Ed. *The Estuary as a Filter*. New York, Academic Press, 159–175.
- Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (2006). A BACIA LUSITANIANA: ESTRATIGRAFIA, PALEOGEOGRAFIA E TECTÓNICA. In *Geologia de Portugal No Contexto Da Ibéria*, Universidade Évora, 317–368. [http://run.unl.pt/bitstream/10362/1487/1/Bacia\\_Lusitania\(VIICNG\).pdf](http://run.unl.pt/bitstream/10362/1487/1/Bacia_Lusitania(VIICNG).pdf)
- Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., & Terrinha, P. (2000). Tectónica da Cadeia da Arrábida. In:

- Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida. *Tectónica Das Regiões de Sintra E Arrábida, Lisboa*, 2, 35–84.
- Lima, M. C., Giacomelli, M. B. O., Stüpp, V., Roberge, F. D., & Barrera, P. B. (2001). Especiação de cobre e chumbo em sedimento do rio tubarão (SC) pelo método tessier. *Química Nova*, 24(6), 734–742. <http://doi.org/10.1590/S0100-40422001000600005>.
- Luíz, C. I., Morgado, A., Pombo, J., & Matos, M. (2006). Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Portuguesa entre Espinho e Figueira da Foz Superficial Sediments of the Portuguese Continental Shelf between. In 1249-093 Lisboa Instituto Hidrográfico - Divisão de Geologia Marinha, R. das Trinas, 49, Ed. VII CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA, pp. 2–5. Évora: Sociedade Geológica de Portugal e Universidade de Évora.
- Magalhães, F. M. de Q. (2001). *Os Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa: contrastes Espaciais, perspectiva Temporal, Potencialidades Económicas*. Universidade de Lisboa. Tese de Doutoramento.
- Manning, A. J., Spearman, J. R., Baugh, J. V., Whitehouse, R. J. S., & Soulby, R. L. (2011). Cohesive sediment flocculation and the application to settling flux modelling. *INTECH Open Access Publisher*.
- Marques, I. S. (2006). *Caracterização Geoquímica da Bacia Hidrográfica do Rio Cértima*. Universidade de Aveiro. Dissertação de Mestrado
- Martins, V. A., Frontalini, F., Tramonte, K. M., Figueira, R. C. L., Miranda, P., Sequeira, C., Dias, J. M., da Silva, E. F., Rocha, F. (2013). Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): Heavy metals and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1–2), 18–33. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.003>
- Martins, V., Abrantes, I., Grangeia, C., Martins, P., Nagai, R., Sousa, S. H. M., Laut, L. L. M., Dias, J. M. A., Rocha, F. (2012). Records of sedimentary dynamics in the continental shelf and upper slope between Aveiro-Espinho (N Portugal). *Journal of Marine Systems*, 96–97, 48–60. <http://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2012.02.001>
- Martins, V., Dubert, J., Jouanneau, J. M., Weber, O., da Silva, E. F., Patinha, C., Dias, J. M. A., Rocha, F. (2007). A multiproxy approach of the Holocene evolution of shelf-slope circulation on the NW Iberian Continental Shelf. *Marine Geology*, 239(1–2), 1–18. <http://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.11.001>
- Mazel, C. (1985). *Side Scan Sonar training manual*. New York, Klein Associates. Inc. Undersea Search and Survey. 144pp.
- Montenat, C., Guéry, F., Jamet, M., & Berthou, P. (1998). *Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison with the adjacent margin*. G. et al. In Boillot, Ed. *Proc. O.D.P., Sci. Res.* (Vol. 103). Washington.
- Moreira, U. (2013). *PRÁTICAS DE SOLOS*. (J. Guimarães & A. Pereira, Eds.) (Publindúst). Porto, Portugal: Publindústria-Engebook.
- Neto, A. A. (2001). RESOLUÇÃO E DA SONOGRAFIA NA EXPLORAÇÃO MINERAL SUBMARINA. *Brazilian Journal of Geophysics.*, 18(3). <http://www.scielo.br/pdf/rbg/v18n3/a04v18n3.pdf>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. (John Wiley & Sons, Ed.) (2nd ed.). UK.
-

- Nishimura, C. (1997). *Fundamentals of Acoustic Backscatter Imagery*. Washington DC: Naval Research Laboratory. 67 pp. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a333800.pdf>
- Pacheco, F. A. L., & Alencão, A. M. P. (2008). *Hidrografia de Corredores Fluviais*. (U. de T.-M. e A. D. S. E. dos SDE, Ed.) (Série Diad). Vila Real, Portugal: Serviços Gráficos da UTAD. <http://doi.org/978-972-669-853-1>
- Paiva, R. (2011). Definição do Campo de Actividades de Dragagens. In C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves (Eds.). *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Universidade de Aveiro.
- Paixão, G. L. (2004a). Dredging And Dredged Material disposal In Portugal. In Universidade Lusófona (Ed.). *Dredging Seminar*. Lisboa, Portugal.
- Paixão, G. L. (2004b). The Fate of Dredged Material in Portugal: a perspective. SEDNET: 3rd workshop morning sediment quality at basin scale: understanding the behaviour and fate of pollutants. *IPortugal: NIAP-IPIMAR*, 87–98.
- Pierzynski, G. M., Vance, G. F., & Sins, J. T. (2005). *Soils and Environmental Quality* (3, ilustrada ed.). CRC Press.
- Pinheiro, J. (2008). *Avaliação Dos Processos De Transposição Artificial De Sedimentos Em Embocaduras*. Universidade do Porto. Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58805/1/000129630.pdf>
- Pinheiro, L. M., Pereira, L. A., Gonçalves, D., Ribeiro, T., João, R., & Magalhães, V. H. (2010). *Aquisição e Processamento de dados de Sonar de Varrimento Lateral e de Perfis de Reflexão Sísmica de Alta Resolução adquiridos ao Largo de Olhos de Água, Algarve Dezembro*. Aveiro, Portugal. [http://geoportal.lneg.pt/Freeze/GEOPHYSICS/OFFSHORE/UAveiro\\_FREEZE\\_2010\\_SS\\_Sonar\\_LevGeofisicos.pdf](http://geoportal.lneg.pt/Freeze/GEOPHYSICS/OFFSHORE/UAveiro_FREEZE_2010_SS_Sonar_LevGeofisicos.pdf)
- Pinheiro, L. M., Teixeira, F. C., Gonçalves, D. S., Azevedo, L., & Ribeiro, T. (2011). Métodos Geofísicos na Planificação e Monitoramento de Operações de Dragagens e na Propeção de Agregados de Plataforma Continental. In C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves (Eds.), *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Universidade de Aveiro.
- Pinheiro, L. M., Whitmarsh, R. B., & Miles, P. R. (1992). The ocean-continental boundary off the western continental margin of Iberia - II. Crustal structure in the Tagus Abyssal Plain. *Geophysical Journal International*, 109, 106–124.
- Pinheiro, L. M., Wilson, R. C. L., Reis, R. P., Whitmarsh, R. B., & Ribeiro, A. (1996). The western Iberia margin: a geophysical and geological overview. *Proc. Ocean Drilling Program Sc. Res*, 149, 3–23.
- Pinto, A. S. F. (2015). *Caracterização geológica e geofísica da área do Porto da Figueira da foz*. Universidade de Aveiro. Dissertação de Mestrado.
- Pinto, J., Mota, P., & Costa, M. (2014). Evolução da climatologia de agitação marítima em Portugal Continental. *Actas Das 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, 195–198.
- Pomerol, C., Lagabrielle, Y., Renard, M., & Guillot, S. (2013). *Princípios de Geologia: técnicas*,

- modelos e teorias*. (M. L. Lelarge, P. F. C. Lelarge, & R. Menegat, Eds.) (14th ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Portaria nº 209/2004 de 3 de Março, Diário da República 1–30 (2004). Portugal: Diário da República. [http://www.ecolabor.pt/pdfs/Portaria\\_209\\_2004.pdf](http://www.ecolabor.pt/pdfs/Portaria_209_2004.pdf)
- Portela, L. I. (2011). Planeamento de Dragagens Portuárias. In C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves (Eds.). *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Universidade de Aveiro.
- Portela, L. I., & Reis, M. L. M. (2002). Mecanismos de transporte de sedimentos coesivos em estuários. In L. I. Portela & M. L. M. Reis (Eds.). *6º Congresso da Água* (p. 2). Lisboa, Portugal: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS.
- Postma, H. (1967). Sediment transport e sedimentation in the estuarine environment. *Estuaries*. Washington, AAAS Publication. In: Lauff, G. H. (Ed.), 83, p.158-179.
- Prata, F., Lavoreti, A., Regitano, J. B., & Tornisielo, V. L. (2000). Influência da matéria orgânica na sorção e dessorção do glifosato em solos com diferentes atributos mineralógicos. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 24, 947–951. <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lce/arquimedes/influencia.pdf>
- Pryor, W. A. (1975). Biogenic sedimentation and alteration of argillaceous sediments in shallow marine environments. *Geological Society of American Bulletin*, 86(6), 1244–1254.
- Quinn, R., Dean, M., Lawrence, M., Liscoe, S., & Boland, D. (2005). Backscatter responses and resolution consideration in archaeological side-scan surveys: a control experimental. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1252–1264.
- Reimann, C., & Caritat, P. de. (1998). *Chemical Elements in the Environment: factsheets for the geochimist and environmental*. C. Raimann & P. de Caritat, Eds. I. Enveron. Verlag, Berlin Heidelberg, Germany: Springer.
- Ribeiro, A. (2002). Soft plate and impact tectonics. *Springer-Verlag, Berlin*, 324.
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., ... Monteiro, J. H. (1979). Introduction à la Géologie Générale du Portugal. *Serviço de Geologia*, 114.
- Ribeiro, A., Silva, J. B., Cabral, J., Dias, R., Fonseca, P., Kullberg, M. C., ... Kullberg, J. C. (1996). *Tectonics of the Lusitanian Basin. Final Report, Proj. MILUPOBAS*. Lisboa, Portugal.
- Ribeiro, L. T., & Gamito, T. M. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integradas na Região Hidrográfica 4* (Vol. 5.2-Água). Lisboa, Portugal. [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/CONSULTA\\_PUBLICA/CP\\_ARHCentro/Consulta\\_Publica/ParteA\\_AAE\\_RA.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/CONSULTA_PUBLICA/CP_ARHCentro/Consulta_Publica/ParteA_AAE_RA.pdf)
- Riddy, P., & Masson, D. G. (1996). The Sea Floor - Exploring a Hidden World. (C. P. Summerhayes, Ed. *Summerhayes C. P.*
- Roberto, C., Poleto, C., & Trevisani, R. (2014). CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS DE
-

## ÁREAS IMPERMEABILIZADAS URBANAS - TOLEDO PR, 32–34.

- Rocha, F. (1993). *Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na Bacia sedimentar de Aveiro*. Universidade de Aveiro. Tese de Doutoramento.
- Rocha, F., & Ramalho, E. (1995). Mineralogia dos paleossolos e crostas carbonatadas do Cabo Mondego (Portugal). *Ciência Da Terra, Lisboa*, (1987), 93–96. <http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/966/1/28627-B93CD.pdf>
- Rocha, F., Silva, E., Bernardes, C., Vidinha, J., Patinha, C., & Geociências, D. (2005). Redalyc. Chemical and mineralogical characterization of the sediments from the Mira, Ílhavo and Ovar channels of Aveiro Lagoon (Portugal). *Ciencias Marinas, Redalyc*. [http://ria.ua.pt/bitstream/10773/13802/1/chemical and mineralogical characterization of the sediments from mira.pdf](http://ria.ua.pt/bitstream/10773/13802/1/chemical%20and%20mineralogical%20characterization%20of%20the%20sediments%20from%20mira.pdf)
- Rocha, R. B., & Soares, A. F. (1984). Algumas reflexões sobre a sedimentação jurássica na orla meso-cenozóica ocidental de Portugal. *Mem. Notícias, Coimbra*, 97, 133–142.
- Rocha, R., Manuppella, G., Mouterde, R., Ruget, C., & Zbyszewski, G. (1981). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da Folha 19-C. In *Notícia explicativa da Folha 19-C, Figueira da Foz*. Carta Geol, p. 126. Serviços Geológicos de Portugal.
- Rocha, S. J., & Freitas, H. (1998). O Rio Mondego: o ambiente fluvial ea sua ecologia. *Congresso Da Água, Lisboa*, (1). [http://www.researchgate.net/publication/242128948\\_O\\_RIO\\_MONDEGO.\\_O\\_AMBIENTE\\_FLUVIAL\\_E\\_A\\_SUA\\_ECOLOGIA/file/5046352b49e6d5b03d.pdf](http://www.researchgate.net/publication/242128948_O_RIO_MONDEGO._O_AMBIENTE_FLUVIAL_E_A_SUA_ECOLOGIA/file/5046352b49e6d5b03d.pdf)
- Roos, P. C. (2004). *Seabed Pattern Dynamics and Offshore Sand Extration*. University of Twente, The Netherlands. PhD Thesis.
- Ruban, G., Mabilais, D., & Lemaire, K. (2014). Particle characterization of urban wet-weather discharges: methods and related uncertainties. *Urban Water Journal*, 9006(September), 1–10. <http://doi.org/10.1080/1573062X.2014.901397>
- Santos, J. A. B. dos. (2009). *Geomorfologia Fluvial e Evolução Quaternária da Bacia do Mondego*. Universidade de Coimbra: Instituto de Estudos Geográficos. Tese de Doutoraento.
- Schintu, M., Marrucci, A., Marras, B., Galgani, F., Buosi, C., Ibba, A., & Cherchi, A. (2016). Heavy metal accumulation in surface sediments at the port of Cagliari (Sardinia, western Mediterranean): Environmental assessment using sequential extractions and benthic foraminifera. *Marine Pollution Bulletin*. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.029>
- Schmidt, L., & Mourato, J. (2015). Políticas públicas costeiras e adaptação às alterações climáticas: Que limites de implementação? *VIII Congresso Sobre Planeamento E Gestão Das Zonas Costeiras Dos Países de Expressão Portuguesa*, 1–17. Retrieved from [http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/5B3\\_Artigo\\_086.pdf](http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/5B3_Artigo_086.pdf)
- Schmidt, L., Santos, F. D., Prista, P., Saraiva, T., & Gomes, C. (2012). Alterações climáticas, sociais e políticas em Portugal: processos de governança num litoral em risco. *Ambiente & Sociedade*, 15(1), 23–40. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000100003>
- Schubel, J. R., & Carter, H. H. (1984). The estuary as a filter for fine-grained suspended sediment.
-

- In V. S. (ed). Kennedy, Ed. *The estuary as a filter* (pp. 81–105). New York: Academic Press.
- Sebastião, A. (2015). Erosão costeira ameaça cidade da Beira. *DW África*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Silva, A. N., Taborda, R., Bertin, X., & Dabet, G. (2012). Seasonal to Decadal Variability of Longshore Sand Transport at the Northwest Coast of Portugal. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 6(138), 464–472.
- Silva, L. B. da, Dick, D. P., & Inda Junior, A. V. (2008). Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. *Ciência Rural*, 38(4), 1167–1171. <http://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400044>
- Silva, P. A. da. (2011). Impactos da Exploração de Inertes na Plataforma Continental. In C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves, Eds. *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Universidade de Aveiro.
- Silva, P. A. da, Coelho, C., Abreu, T., Baptista, P., Bernardes, C., Fontan Bouzas, Á., Dias, J. Pinheiro, L. M., Feereira, C., Garrido, C. Pinto, A., Lima, L., Vaz, N. (2015). Contribuição para o estudo da dinâmica sedimentar da embocadura do porto da Figueira da Foz, Portugal. In Silva, P. A. da, Coelho, C., Abreu, T., Baptista, P., Bernardes, C., Fontan Bouzas, Á., Dias, J. Pinheiro, L. M., Feereira, C., Garrido, C. Pinto, A., Lima, L., Vaz, N., Eds. *VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, pp. 1–15. Aveiro: ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS.
- Silvera, S. A. N., & Rohan, T. E. (2007). Trace elements and cancer risk: a review of the epidemiologic evidence. *Cancer Causes & Control: CCC*, 18(1), 7–27. <http://doi.org/10.1007/s10552-006-0057-z>
- Silvester, R., & Hsu, J. R. S. (1997). *Coastal Stabilization*. B. L. C.-P. Data, Ed. Advanced S. British: World Scientific.
- Sisternans, P. G. J. (2002). Graded sediment transport by non-breaking waves and a current. *Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*.
- Skoog, D. A., West, D. M., & Crouch, S. (2005). *Fundamentos de química analítica*. D. A. Skkog, D. M. West, & S. Crouch, Eds. 8ª Edición. Barcelona: Thomson.
- Soares, A., & Abreu, S. (2011). Impactos Ambientais. In C. Coelho, P. A. Silva, L. M. Pinheiro, & D. Gonçalves, Eds. *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Universidade de Aveiro.
- Souza, L. A. P. (2006). *Revisão Crítica da Aplicabilidade dos Métodos Geofísicos na Investigação de Áreas Submersas Rasas*. Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado.
- Srivastava, S. P., & Verhoef, J. (1992). Evolution of Mesozoic sedimentary basins around the North Central Atlantic: a preliminary plate kinematic solution. *Geological Society Special Publication London, Basins of the Atlantic Seaboard: Petroleum Geology, Sedimentology and Basins Evolution*, 62, 397–420.
- Terrinha, P., Kullberg, J. C., Alves, T., & Lourenço, N. (2010). A tectónica do Meso-Cenozoico

e da Margem Continental Oeste-Ibérica a partir de 1960. *In Ciências Geológicas – Ensino E Investigação E a Sua História, 1*, 17–433.

- Terrinha, P., Matias, L., Vicente, J., Duarte, J., Luis, J., Pinheiro, L., Diez, S. Rosa, F. Magalhães, V. Zetelini, N., Roque, C. Victor, L. M., Team, M. (2009). Morphotectonics and strain partitioning at the Iberia-Africa plate boundary from multibeam and seismic reflection data. *Marine Geology*, 267(3–4), 156–174.
- Tucker, M. E. (2014). *Rochas Sedimentares: guia geológico de campo*. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman Editora LTDA.
- USEPA. (1996). Method 3050B - Acid digestion of sediments, sludges, and soils. 1996, (December), 12. <http://doi.org/10.1117/12.528651>
- Van Rijn, L., Soulsby, R., Hoekstra, P., & Davies, A. G. (2005). *SANDPIT, Sand Transport and Morphology of offshore Mining Pits*. The Netherlands: Aqua Publications.
- Van Rijn, L., & Walstra, D. J. (2002). *Morphology Of Pits, Channels and Trenches. Part I: Literature Review and Study Approach*. The Netherlands.
- Velosa, A., & Cachim, P. (2011). Utilização de Dragados em Materiais de Construção. In C. Coelho, P. A. da Silva, L. M. Pinheiro, & D. S. Gonçalves, Eds. *Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Universidade de Aveiro.
- Veloso-Gomes, F., Barroca, A., Ramos Pereira, A., Sousa Ramos, C., Calado, H., Gomes Ferreira, J., Freitas, M. da C., Biscoito, M. (2007). A gestão da zona costeira Portuguesa. *Revista Da Gestão Costeira Integrada*, 7(2), 13. [http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7f2\\_1\\_velosogomes.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7f2_1_velosogomes.pdf)
- Verfaillie, E., Du Four, I., Van Lancker, V., Maes, F., & Schrijvers, J. (2005). Dredging and disposal of dredged material. *Towards a Spatial Structure Plan for Sustainable Management of the Sea: Mixed Actions-Final Report: SPSD II. MA/02/006*, 150–162.
- Vize, S., & Coggan, R. (2005). C-Trawls and Dredges. *Review of Standards and Protocols for Seabed Habitats Mapping - MESH 2.1*, (March). Retrieved from [http://www.searchmesh.net/PDF/050401\\_MESH\\_REVIEWS\\_2\\_1\\_V2.2.pdf#page=164](http://www.searchmesh.net/PDF/050401_MESH_REVIEWS_2_1_V2.2.pdf#page=164)
- Whitmarsh, R. B., & Miles, P. (1995). Models of the development of the West Iberia rifted continental margin at 40°30'N deduced from surface and deep-tow magnetic anomalies. *J. Geophys. Res.* 100, 3789–3806.
- WHO. (1996). *Trace elements in human nutrition and health World Health Organization. World Health Organization*. Geneva.
- Wikipédia, A enciclopédia livre. (2008). Percentil. Retrieved September 2, 2016, from <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Percentil&oldid=46594255>>
- Wikipédia, A enciclopédia livre. (2015). Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente. [https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Espectrometria\\_de\\_massa\\_por\\_plasma\\_acoplado\\_indutivamente&oldid=44014122](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Espectrometria_de_massa_por_plasma_acoplado_indutivamente&oldid=44014122). Agust. 15, 2006.
- Winterwerp, J. C. (2002). On the flocculation and settling velocity of estuarine mud. *Continental Shelf Research*, 22, 1339–1360.
- Xu, W. (1998). Signal Directional-of-Arrival and Amplitude Estimation for Multiple-Row Bathymetric Sidescan Sonars. *Master Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institute*.
-

Apêndices

Apêndice 1. Tabelas de resultados granulométricos

		CLASSE DE AREIA MUITO FINA (A1)			
Sample:		FF1	FF5	FF19	FF20
ANALYST AND DATE:		Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016
SIEVING ERROR:		1,1%	0,9%	0,1%	0,9%
SAMPLE TYPE:		Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:		Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:		Fine Silty Fine Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Very Fine Sand	Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_n$ ):	133,0	242,6	145,2	156,1
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_n$ ):	143,9	393,4	99,66	113,5
Arithmetic ( $\mu\text{m}$ )	SKEWNESS ( $Sk_n$ ):	5,530	3,513	5,243	5,917
	KURTOSIS ( $K_n$ ):	49,24	18,54	67,19	67,51
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	51,43	66,46	80,56	88,97
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	4,531	5,629	3,603	3,538
Geometric ( $\mu\text{m}$ )	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-0,326	-0,086	-1,133	-1,255
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	1,390	1,810	2,615	2,978
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_\phi$ ):	4,281	3,884	3,634	3,491
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_\phi$ ):	2,180	2,481	1,849	1,823
Logarithmic ( $\phi$ )	SKEWNESS ( $Sk_\phi$ ):	0,326	0,070	1,133	1,255
	KURTOSIS ( $K_\phi$ ):	1,390	1,767	2,615	2,978
FOLK AND	MEAN ( $M_z$ ):	67,42	80,85	95,70	104,6
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_z$ ):	3,572	5,005	2,801	2,673
( $\mu\text{m}$ )	SKEWNESS ( $Sk_z$ ):	-0,601	-0,132	-0,647	-0,660
	KURTOSIS ( $K_z$ ):	0,772	1,038	1,439	1,608
FOLK AND	MEAN ( $M_v$ ):	3,891	3,629	3,385	3,257
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_v$ ):	1,837	2,323	1,486	1,418
( $\phi$ )	SKEWNESS ( $Sk_v$ ):	0,601	0,132	0,647	0,660
	KURTOSIS ( $K_v$ ):	0,772	1,038	1,439	1,608
FOLK AND	MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
WARD METHOD	SORTING:	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
	KURTOSIS:	Platykurtic	Mesokurtic	Leptokurtic	Very Leptokurtic
	MODE 1 ( $\mu\text{m}$ ):	187,5	94,00	187,5	187,5
	MODE 2 ( $\mu\text{m}$ ):				
	MODE 3 ( $\mu\text{m}$ ):				
	MODE 1 ( $\phi$ ):	2,500	3,494	2,500	2,500
	MODE 2 ( $\phi$ ):				
	MODE 3 ( $\phi$ ):				
	D <sub>10</sub> ( $\mu\text{m}$ ):	8,112	8,756	13,64	15,31
	D <sub>20</sub> ( $\mu\text{m}$ ):	117,4	98,65	142,5	151,1
	D <sub>30</sub> ( $\mu\text{m}$ ):	227,7	585,0	228,5	232,7
	(D <sub>30</sub> / D <sub>10</sub> ) ( $\mu\text{m}$ ):	28,07	66,81	16,75	15,20
	(D <sub>30</sub> - D <sub>10</sub> ) ( $\mu\text{m}$ ):	219,6	576,2	214,9	217,4
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) ( $\mu\text{m}$ ):	7,438	7,857	2,712	2,415
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) ( $\mu\text{m}$ ):	156,3	201,5	120,9	115,9
	D <sub>10</sub> ( $\phi$ ):	2,135	0,773	2,130	2,103
	D <sub>20</sub> ( $\phi$ ):	3,090	3,342	2,811	2,727
	D <sub>30</sub> ( $\phi$ ):	6,946	6,835	6,196	6,029
	(D <sub>30</sub> / D <sub>10</sub> ) ( $\phi$ ):	3,254	8,837	2,910	2,866
	(D <sub>30</sub> - D <sub>10</sub> ) ( $\phi$ ):	4,811	6,062	4,066	3,926
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) ( $\phi$ ):	2,172	2,406	1,604	1,544
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) ( $\phi$ ):	2,895	2,974	1,439	1,272
	% GRAVEL:	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%
	% SAND:	62,0%	64,8%	77,8%	79,7%
	% MUD:	38,0%	34,4%	22,2%	20,3%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%
	% V COARSE SAND:	0,6%	4,7%	0,2%	0,3%
	% COARSE SAND:	0,8%	5,8%	0,4%	0,4%
	% MEDIUM SAND:	2,5%	11,5%	1,9%	2,6%
	% FINE SAND:	44,8%	19,0%	58,7%	64,2%
	% V FINE SAND:	13,2%	23,8%	16,7%	12,1%
	% V COARSE SILT:	6,3%	5,7%	3,7%	3,4%
	% COARSE SILT:	6,3%	5,7%	3,7%	3,4%
	% MEDIUM SILT:	6,3%	5,7%	3,7%	3,4%
	% FINE SILT:	6,3%	5,7%	3,7%	3,4%
	% V FINE SILT:	6,3%	5,7%	3,7%	3,4%
	% CLAY:	6,3%	5,7%	3,7%	3,4%

CLASSE DE AREIA FINA (B1)					
	Sample:	FF2	FF3	FF6	FF7
	ANALYST AND DATE	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016
	SIEVING ERROR:	0,4%	0,9%	0,9%	0,4%
	SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
	TEXTURAL GROUP:	Slightly Gravelly Sand	Sand	Sand	Sand
	SEDIMENT NAME:	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	307,1	304,6	248,7	301,7
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_s$ ):	314,9	222,4	301,0	184,1
Arithmetic (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	5,387	3,160	3,257	2,955
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	40,32	16,19	13,25	16,38
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	228,0	236,9	152,9	251,1
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_s$ ):	1,955	1,913	2,600	1,596
Geometric (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-0,713	-1,255	-0,872	0,851
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	11,12	11,18	6,609	3,649
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	2,133	2,078	2,710	1,994
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_s$ ):	0,967	0,936	1,379	0,674
Logarithmic (f)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	0,713	1,255	0,872	-0,851
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	11,12	11,18	6,609	3,649
FOLK AND	MEAN ( $M_c$ ):	230,2	240,2	149,2	245,4
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_c$ ):	1,739	1,751	2,000	1,647
(mm)	SKEWNESS ( $Sk_c$ ):	0,218	0,153	0,006	0,221
	KURTOSIS ( $K_c$ ):	1,044	0,977	1,688	0,861
FOLK AND	MEAN ( $M_s$ ):	2,119	2,058	2,745	2,027
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_s$ ):	0,798	0,808	1,000	0,719
(f)	SKEWNESS ( $Sk_s$ ):	-0,218	-0,153	-0,006	-0,221
	KURTOSIS ( $K_s$ ):	1,044	0,977	1,688	0,861
FOLK AND	MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
WARD METHOD	SORTING:	Moderately Sorted	Moderately Sorted	Moderately Sorted	Moderately Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Coarse Skewed	Coarse Skewed	Symmetrical	Coarse Skewed
	KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Very Leptokurtic	Platykurtic
	MODE 1 (mm):	187,5	187,5	187,5	187,5
	MODE 2 (mm):				
	MODE 3 (mm):				
	MODE 1 (f):	2,500	2,500	2,500	2,500
	MODE 2 (f):				
	MODE 3 (f):				
	D <sub>10</sub> (mm):	130,5	131,3	71,82	139,4
	D <sub>20</sub> (mm):	213,8	228,2	160,4	231,8
	D <sub>30</sub> (mm):	465,5	478,2	437,8	474,7
	(D <sub>30</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,568	3,642	6,096	3,406
	(D <sub>30</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	335,1	346,9	366,0	335,3
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,108	2,212	1,992	2,122
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	173,9	195,8	108,6	189,2
	D <sub>10</sub> (f):	1,103	1,064	1,192	1,075
	D <sub>20</sub> (f):	2,226	2,132	2,641	2,109
	D <sub>30</sub> (f):	2,938	2,929	3,799	2,843
	(D <sub>30</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	2,664	2,752	3,189	2,645
	(D <sub>30</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,835	1,865	2,608	1,768
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,674	1,771	1,452	1,732
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,076	1,145	0,994	1,085
	% GRAVEL:	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
	% SAND:	98,1%	98,8%	94,7%	100,0%
	% MUD:	1,3%	1,2%	5,3%	0,0%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%
	% V COARSE SAND:	2,1%	1,8%	4,3%	0,8%
	% COARSE SAND:	4,1%	5,9%	4,8%	6,5%
	% MEDIUM SAND:	30,5%	35,7%	4,8%	36,8%
	% FINE SAND:	56,2%	50,2%	56,4%	54,5%
	% V FINE SAND:	5,3%	5,2%	24,4%	1,4%
	% V COARSE SILT:	0,2%	0,2%	0,9%	0,0%
	% COARSE SILT:	0,2%	0,2%	0,9%	0,0%
	% MEDIUM SILT:	0,2%	0,2%	0,9%	0,0%
	% FINE SILT:	0,2%	0,2%	0,9%	0,0%
	% V FINE SILT:	0,2%	0,2%	0,9%	0,0%
	% CLAY:	0,2%	0,2%	0,9%	0,0%

		CLASSE DE AREIA FINA (B2)			
Sample:		FF10	FF14	FF15	FF18
ANALYST AND DATE:		Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016
SIEVING ERROR:		0,6%	0,7%	0,2%	0,5%
SAMPLE TYPE:		Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted
TEXTURAL GROUP:		Slightly Gravelly Sand	Muddy Sand	Sand	Slightly Gravelly Sand
SEDIMENT NAME:		Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Moderately Well Sorted Fine Sand	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_n$ ):	334,6	237,9	268,6	213,3
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_s$ ):	489,9	203,1	171,0	240,6
Arithmetic (mm)	SKEWNESS ( $Sk_p$ ):	4,475	3,824	3,921	9,589
	KURTOSIS ( $K_p$ ):	23,42	22,58	26,59	107,4
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	209,8	152,2	217,6	158,3
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_s$ ):	2,591	2,978	1,812	2,246
Geometric (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-2,393	-1,726	-1,867	-2,936
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	19,70	5,916	14,73	17,47
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_l$ ):	2,076	2,716	2,200	2,601
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_s$ ):	0,942	1,574	0,858	1,044
Logarithmic (f)	SKEWNESS ( $Sk_l$ ):	-2,008	1,726	1,867	2,179
	KURTOSIS ( $K_l$ ):	8,007	5,916	14,73	14,04
FOLK AND	MEAN ( $M_{co}$ ):	222,9	196,4	225,5	175,8
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_{co}$ ):	1,897	2,145	1,611	1,498
(mm)	SKEWNESS ( $Sk_{co}$ ):	0,485	-0,119	0,139	-0,031
	KURTOSIS ( $K_{co}$ ):	1,827	2,477	0,873	1,613
FOLK AND	MEAN ( $M_p$ ):	2,166	2,348	2,149	2,508
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_p$ ):	0,923	1,101	0,688	0,583
(f)	SKEWNESS ( $Sk_p$ ):	-0,485	0,119	-0,139	0,031
	KURTOSIS ( $K_p$ ):	1,827	2,477	0,873	1,613
FOLK AND	MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
WARD METHOD	SORTING:	Moderately Sorted	Poorly Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Very Coarse Skewed	Fine Skewed	Coarse Skewed	Symmetrical
	KURTOSIS:	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	Platykurtic	Very Leptokurtic
	MODE 1 (mm):	187,5	187,5	187,5	187,5
	MODE 2 (mm):				
	MODE 3 (mm):				
	MODE 1 (f):	2,500	2,500	2,500	2,500
	MODE 2 (f):				
	MODE 3 (f):				
	D <sub>10</sub> (mm):	134,2	62,40	131,2	119,1
	D <sub>20</sub> (mm):	200,3	184,5	212,2	175,8
	D <sub>30</sub> (mm):	484,6	408,7	434,5	248,3
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,611	6,549	3,312	2,084
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	350,4	346,3	303,3	129,1
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	1,781	1,769	2,020	1,539
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	121,8	106,7	160,2	76,42
	D <sub>10</sub> (f):	1,045	1,291	1,203	2,010
	D <sub>20</sub> (f):	2,320	2,438	2,236	2,508
	D <sub>30</sub> (f):	2,898	4,002	2,931	3,069
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	2,773	3,100	2,437	1,527
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,853	2,711	1,728	1,059
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,450	1,406	1,613	1,283
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	0,833	0,823	1,014	0,622
	% GRAVEL:	4,4%	0,0%	0,0%	1,2%
	% SAND:	95,6%	90,0%	98,7%	95,1%
	% MUD:	0,1%	10,0%	1,3%	3,8%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	4,4%	0,0%	0,0%	1,2%
	% V COARSE SAND:	2,5%	1,4%	0,9%	0,3%
	% COARSE SAND:	2,3%	3,1%	2,4%	1,2%
	% MEDIUM SAND:	18,7%	18,9%	33,1%	6,5%
	% FINE SAND:	69,3%	60,7%	57,6%	80,3%
	% V FINE SAND:	2,8%	5,8%	4,7%	6,7%
	% V COARSE SILT:	0,0%	1,7%	0,2%	0,6%
	% COARSE SILT:	0,0%	1,7%	0,2%	0,6%
	% MEDIUM SILT:	0,0%	1,7%	0,2%	0,6%
	% FINE SILT:	0,0%	1,7%	0,2%	0,6%
	% V FINE SILT:	0,0%	1,7%	0,2%	0,6%
	% CLAY:	0,0%	1,7%	0,2%	0,6%

CLASSE DE AREIA FINA (B3)				
	Sample:	FF21	FF23	FF24
	ANALYST AND DATE:	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016
	SIEVING ERROR:	0,8%	0,7%	0,1%
	SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted
	TEXTURAL GROUP:	Slightly Gravelly Sand	Sand	Slightly Gravelly Sand
	SEDIMENT NAME:	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand	Poorly Sorted Fine Sand	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_a$ ):	205,2	217,4	232,4
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_a$ ):	166,0	151,7	117,7
Arithmetic (mm)	SKEWNESS ( $Sk_a$ ):	11,95	3,641	4,140
	KURTOSIS ( $K_a$ ):	187,1	26,87	36,18
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	167,9	152,6	198,6
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,916	2,588	1,611
Geometric (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-4,511	-1,983	-2,521
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	36,56	7,387	27,02
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_f$ ):	2,497	2,712	2,325
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_f$ ):	0,709	1,372	0,661
Logarithmic (f)	SKEWNESS ( $Sk_f$ ):	1,634	1,983	1,777
	KURTOSIS ( $K_f$ ):	22,59	7,387	19,58
FOLK AND	MEAN ( $M_G$ ):	177,4	176,1	203,2
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_G$ ):	1,436	2,046	1,485
(mm)	SKEWNESS ( $Sk_G$ ):	0,029	-0,189	0,258
	KURTOSIS ( $K_G$ ):	1,395	1,971	1,086
FOLK AND	MEAN ( $M_Z$ ):	2,495	2,505	2,299
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_Z$ ):	0,522	1,033	0,570
(f)	SKEWNESS ( $Sk_Z$ ):	-0,029	0,189	-0,258
	KURTOSIS ( $K_Z$ ):	1,395	1,971	1,086
FOLK AND	MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
WARD METHOD	SORTING:	Moderately Well Sorted	Poorly Sorted	Moderately Well Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Symmetrical	Fine Skewed	Coarse Skewed
	KURTOSIS:	Leptokurtic	Very Leptokurtic	Mesokurtic
	MODE 1 (mm):	187,5	187,5	187,5
	MODE 2 (mm):			
	MODE 3 (mm):			
	MODE 1 (f):	2,500	2,500	2,500
	MODE 2 (f):			
	MODE 3 (f):			
	D <sub>10</sub> (mm):	126,5	72,52	131,3
	D <sub>50</sub> (mm):	177,4	178,3	192,8
	D <sub>90</sub> (mm):	248,7	381,1	379,8
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	1,966	5,256	2,893
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	122,3	308,6	248,5
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	1,526	1,816	1,616
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	75,53	108,0	93,44
	D <sub>10</sub> (f):	2,007	1,392	1,397
	D <sub>50</sub> (f):	2,495	2,487	2,375
	D <sub>90</sub> (f):	2,983	3,786	2,929
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	1,486	2,720	2,097
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	0,976	2,394	1,532
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,278	1,419	1,341
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	0,610	0,861	0,693
	% GRAVEL:	1,0%	0,0%	0,1%
	% SAND:	97,9%	92,7%	99,2%
	% MUD:	1,1%	7,3%	0,7%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	1,0%	0,0%	0,1%
	% V COARSE SAND:	0,2%	0,5%	0,2%
	% COARSE SAND:	0,9%	2,0%	1,2%
	% MEDIUM SAND:	7,3%	19,2%	21,4%
	% FINE SAND:	82,0%	58,1%	72,2%
	% V FINE SAND:	7,5%	12,9%	4,2%
	% V COARSE SILT:	0,2%	1,2%	0,1%
	% COARSE SILT:	0,2%	1,2%	0,1%
	% MEDIUM SILT:	0,2%	1,2%	0,1%
	% FINE SILT:	0,2%	1,2%	0,1%
	% V FINE SILT:	0,2%	1,2%	0,1%
	% CLAY:	0,2%	1,2%	0,1%

CLASSE DE AREIA FINA (B4)				
Sample:	FF28	FF33	FF34	
ANALYST AND DATE:	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	
SIEVING ERROR:	0,6%	0,6%	0,2%	
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	
TEXTURAL GROUP:	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Sand	Sand	
SEDIMENT NAME:	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Fine Sand	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_n$ ):	235,3	239,2	188,5	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_n$ ):	345,4	257,8	150,4	
Arithmetic (mm) SKEWNESS ( $Sk_n$ ):	5,735	5,782	4,769	
KURTOSIS ( $K_n$ ):	42,22	45,83	36,33	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	116,8	180,6	132,9	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_g$ ):	3,709	1,882	2,469	
Geometric (mm) SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-1,087	-1,050	-1,846	
KURTOSIS ( $K_g$ ):	4,147	17,19	7,433	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_f$ ):	3,051	2,458	2,912	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_f$ ):	1,844	0,882	1,304	
Logarithmic (f) SKEWNESS ( $Sk_f$ ):	0,987	0,509	1,846	
KURTOSIS ( $K_f$ ):	3,830	14,10	7,433	
FOLK AND MEAN ( $M_G$ ):	147,3	177,2	144,7	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_G$ ):	2,691	1,558	1,950	
(mm) SKEWNESS ( $Sk_G$ ):	-0,266	0,103	-0,270	
KURTOSIS ( $K_G$ ):	1,795	1,780	1,628	
FOLK AND MEAN ( $M_z$ ):	2,763	2,496	2,789	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_z$ ):	1,428	0,640	0,964	
(f) SKEWNESS ( $Sk_z$ ):	0,266	-0,103	0,270	
KURTOSIS ( $K_z$ ):	1,795	1,780	1,628	
FOLK AND MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	
WARD METHOD SORTING:	Poorly Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted	
(Description) SKEWNESS:	Fine Skewed	Coarse Skewed	Fine Skewed	
KURTOSIS:	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	
MODE 1 (mm):	187,5	187,5	187,5	
MODE 2 (mm):				
MODE 3 (mm):				
MODE 1 (f):	2,500	2,500	2,500	
MODE 2 (f):				
MODE 3 (f):				
D <sub>10</sub> (mm):	26,20	118,6	68,71	
D <sub>50</sub> (mm):	160,0	177,2	157,6	
D <sub>90</sub> (mm):	402,1	291,7	258,5	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	15,35	2,459	3,762	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	375,9	173,1	189,7	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,514	1,559	1,964	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	139,5	79,38	103,5	
D <sub>10</sub> (f):	1,314	1,777	1,952	
D <sub>50</sub> (f):	2,644	2,496	2,666	
D <sub>90</sub> (f):	5,254	3,076	3,863	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	3,998	1,730	1,979	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	3,940	1,298	1,911	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,630	1,295	1,433	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,330	0,641	0,974	
% GRAVEL:	1,4%	0,4%	0,0%	
% SAND:	84,0%	98,3%	92,9%	
% MUD:	14,6%	1,3%	7,1%	
% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE GRAVEL:	1,4%	0,4%	0,0%	
% V COARSE SAND:	1,6%	2,1%	0,6%	
% COARSE SAND:	2,4%	3,1%	2,1%	
% MEDIUM SAND:	14,4%	5,7%	7,7%	
% FINE SAND:	46,8%	78,0%	59,5%	
% V FINE SAND:	18,7%	9,4%	23,0%	
% V COARSE SILT:	2,4%	0,2%	1,2%	
% COARSE SILT:	2,4%	0,2%	1,2%	
% MEDIUM SILT:	2,4%	0,2%	1,2%	
% FINE SILT:	2,4%	0,2%	1,2%	
% V FINE SILT:	2,4%	0,2%	1,2%	
% CLAY:	2,4%	0,2%	1,2%	

CLASSE DE AREIA MÉDIA (C1)				
Sample:	FF4	FF8	FF11	
ANALYST AND DATE:	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	
SIEVING ERROR:	0,8%	0,2%	0,7%	
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	
TEXTURAL GROUP:	Slightly Gravelly Sand	Sand	Sand	
SEDIMENT NAME:	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Moderately Well Sorted Medium Sand	Moderately Well Sorted Medium Sand	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_n$ ):	347,7	420,0	441,1	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_n$ ):	260,7	210,4	203,3	
Arithmetic (mm) SKEWNESS ( $SK_n$ ):	4,894	3,681	1,977	
KURTOSIS ( $K_n$ ):	39,78	18,46	9,242	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	282,6	368,0	381,4	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,646	1,416	1,501	
Geometric (mm) SKEWNESS ( $SK_g$ ):	0,913	1,332	0,296	
KURTOSIS ( $K_g$ ):	4,746	8,198	3,670	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_p$ ):	1,823	1,442	1,391	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_p$ ):	0,719	0,502	0,586	
Logarithmic (f) SKEWNESS ( $SK_p$ ):	-0,913	-1,332	-0,296	
KURTOSIS ( $K_p$ ):	4,746	8,198	3,670	
FOLK AND MEAN ( $M_G$ ):	271,9	358,4	387,6	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_G$ ):	1,679	1,425	1,573	
(mm) SKEWNESS ( $SK_G$ ):	0,046	0,085	0,098	
KURTOSIS ( $K_G$ ):	0,930	1,353	1,308	
FOLK AND MEAN ( $M_2$ ):	1,879	1,480	1,367	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_2$ ):	0,748	0,511	0,654	
(f) SKEWNESS ( $SK_2$ ):	-0,046	-0,085	-0,098	
KURTOSIS ( $K_2$ ):	0,930	1,353	1,308	
FOLK AND MEAN:	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand	
WARD METHOD SORTING:	Moderately Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	
(Description) SKEWNESS:	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	
KURTOSIS:	Mesokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	
MODE 1 (mm):	375,0	375,0	375,0	
MODE 2 (mm):				
MODE 3 (mm):				
MODE 1 (f):	1,500	1,500	1,500	
MODE 2 (f):				
MODE 3 (f):				
D <sub>10</sub> (mm):	145,3	255,8	231,6	
D <sub>50</sub> (mm):	277,5	358,4	371,9	
D <sub>90</sub> (mm):	492,0	522,5	734,3	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,385	2,043	3,170	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	346,6	266,8	502,7	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,130	1,524	1,669	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	210,5	152,2	192,6	
D <sub>10</sub> (f):	1,023	0,936	0,446	
D <sub>50</sub> (f):	1,850	1,480	1,427	
D <sub>90</sub> (f):	2,783	1,967	2,110	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	2,719	2,101	4,736	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,759	1,031	1,665	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,818	1,517	1,699	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,091	0,608	0,739	
% GRAVEL:	0,3%	0,0%	0,0%	
% SAND:	99,7%	100,0%	100,0%	
% MUD:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE GRAVEL:	0,3%	0,0%	0,0%	
% V COARSE SAND:	1,8%	2,6%	1,1%	
% COARSE SAND:	6,8%	7,9%	20,0%	
% MEDIUM SAND:	48,4%	82,2%	67,7%	
% FINE SAND:	41,8%	7,3%	11,2%	
% V FINE SAND:	0,9%	0,0%	0,0%	
% V COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% CLAY:	0,0%	0,0%	0,0%	

CLASSE DE AREIA MÉDIA (C2)				
Sample:		FF12	FF13	FF16
ANALYST AND DATE:		Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016
SIEVING ERROR:		0,2%	0,1%	0,1%
SAMPLE TYPE:		Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted
TEXTURAL GROUP:		Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand
SEDIMENT NAME:		Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	529,9	425,6	347,5
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	276,9	284,7	231,1
Arithmetic (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	3,633	4,536	6,246
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	29,85	36,71	60,81
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	452,2	328,1	293,1
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,544	2,186	1,549
Geometric (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	0,306	-2,850	0,670
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	3,696	15,50	6,042
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	1,145	1,608	1,771
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	0,626	1,128	0,631
Logarithmic (f)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-0,306	2,850	-0,670
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	3,696	15,50	6,042
FOLK AND	MEAN ( $M_G$ ):	456,3	354,8	284,9
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_G$ ):	1,582	1,629	1,539
(mm)	SKEWNESS ( $Sk_G$ ):	0,124	-0,016	-0,207
	KURTOSIS ( $K_G$ ):	0,806	1,452	0,828
FOLK AND	MEAN ( $M_Z$ ):	1,132	1,495	1,812
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_Z$ ):	0,662	0,704	0,622
(f)	SKEWNESS ( $Sk_Z$ ):	-0,124	0,016	0,207
	KURTOSIS ( $K_Z$ ):	0,806	1,452	0,828
FOLK AND	MEAN:	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand
WARD METHOD	SORTING:	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted	Moderately Well Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Coarse Skewed	Symmetrical	Fine Skewed
	KURTOSIS:	Platykurtic	Leptokurtic	Platykurtic
	MODE 1 (mm):	375,0	375,0	375,0
	MODE 2 (mm):			
	MODE 3 (mm):			
	MODE 1 (f):	1,500	1,500	1,500
	MODE 2 (f):			
	MODE 3 (f):			
	D <sub>10</sub> (mm):	264,2	173,2	152,0
	D <sub>50</sub> (mm):	435,2	354,2	302,2
	D <sub>90</sub> (mm):	857,1	698,4	472,7
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,244	4,032	3,109
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	592,9	525,2	320,7
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,033	1,698	1,902
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	329,2	189,8	189,6
	D <sub>10</sub> (f):	0,222	0,518	1,081
	D <sub>50</sub> (f):	1,200	1,497	1,726
	D <sub>90</sub> (f):	1,920	2,529	2,718
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	8,632	4,884	2,514
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,698	2,011	1,637
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	2,635	1,685	1,701
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,024	0,764	0,927
	% GRAVEL:	0,4%	0,5%	0,3%
	% SAND:	99,6%	96,7%	99,7%
	% MUD:	0,0%	2,8%	0,0%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	0,4%	0,5%	0,3%
	% V COARSE SAND:	1,3%	1,5%	1,3%
	% COARSE SAND:	37,1%	15,5%	3,4%
	% MEDIUM SAND:	55,6%	65,4%	62,0%
	% FINE SAND:	5,6%	13,4%	32,1%
	% V FINE SAND:	0,0%	0,9%	0,9%
	% V COARSE SILT:	0,0%	0,5%	0,0%
	% COARSE SILT:	0,0%	0,5%	0,0%
	% MEDIUM SILT:	0,0%	0,5%	0,0%
	% FINE SILT:	0,0%	0,5%	0,0%
	% V FINE SILT:	0,0%	0,5%	0,0%
	% CLAY:	0,0%	0,5%	0,0%

CLASSE DE AREIA MÉDIA (C3)				
Sample:	FF22	FF25	FF26	
ANALYST AND DATE:	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	
SIEVING ERROR:	0,1%	0,0%	0,1%	
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	
TEXTURAL GROUP:	Sand	Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand	
SEDIMENT NAME:	Moderately Well Sorted Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_n$ ):	370,2	363,0	405,9	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_n$ ):	200,5	169,5	269,9	
Arithmetic (mm) SKEWNESS ( $Sk_n$ ):	3,060	4,982	4,170	
KURTOSIS ( $K_n$ ):	16,72	54,36	33,02	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	313,6	317,5	329,5	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,584	1,460	1,785	
Geometric (mm) SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-0,449	0,080	-2,301	
KURTOSIS ( $K_g$ ):	9,924	5,458	29,13	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_f$ ):	1,673	1,655	1,575	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_f$ ):	0,664	0,546	0,719	
Logarithmic (f) SKEWNESS ( $Sk_f$ ):	0,449	-0,080	-0,531	
KURTOSIS ( $K_f$ ):	9,924	5,458	3,987	
FOLK AND MEAN ( $M_G$ ):	303,6	313,3	320,0	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_G$ ):	1,613	1,501	1,693	
(mm) SKEWNESS ( $Sk_G$ ):	-0,095	-0,179	-0,034	
KURTOSIS ( $K_G$ ):	1,187	1,175	1,200	
FOLK AND MEAN ( $M_D$ ):	1,720	1,674	1,644	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_D$ ):	0,690	0,586	0,760	
(f) SKEWNESS ( $Sk_D$ ):	0,095	0,179	0,034	
KURTOSIS ( $K_D$ ):	1,187	1,175	1,200	
FOLK AND MEAN:	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand	
WARD METHOD SORTING:	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted	
(Description) SKEWNESS:	Symmetrical	Fine Skewed	Symmetrical	
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	
MODE 1 (mm):	375,0	375,0	375,0	
MODE 2 (mm):				
MODE 3 (mm):				
MODE 1 (f):	1,500	1,500	1,500	
MODE 2 (f):				
MODE 3 (f):				
D <sub>10</sub> (mm):	159,8	170,0	161,6	
D <sub>50</sub> (mm):	321,4	327,7	333,8	
D <sub>90</sub> (mm):	496,2	481,3	689,5	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,105	2,832	4,266	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	336,4	311,4	527,9	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	1,773	1,617	1,866	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	183,8	159,0	209,8	
D <sub>10</sub> (f):	1,011	1,055	0,536	
D <sub>50</sub> (f):	1,638	1,610	1,583	
D <sub>90</sub> (f):	2,646	2,557	2,629	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	2,617	2,424	4,902	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,635	1,502	2,093	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,663	1,549	1,786	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	0,826	0,693	0,900	
% GRAVEL:	0,0%	0,1%	0,6%	
% SAND:	99,8%	99,9%	99,4%	
% MUD:	0,2%	0,0%	0,0%	
% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE GRAVEL:	0,0%	0,1%	0,6%	
% V COARSE SAND:	1,5%	0,7%	1,7%	
% COARSE SAND:	7,8%	5,3%	14,4%	
% MEDIUM SAND:	63,8%	72,1%	57,1%	
% FINE SAND:	26,1%	21,3%	25,7%	
% V FINE SAND:	0,6%	0,6%	0,5%	
% V COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% CLAY:	0,0%	0,0%	0,0%	

		CLASSE DE AREIA MÉDIA (C4)			
Sample:		FF27	FF31	FF32	FF35
ANALYST AND DATE:		Assane Pena, 5/4/2016		Assane Pena, 5/4/2016	
SIEVING ERROR:		0,2%	0,2%	0,1%	0,3%
SAMPLE TYPE:		Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
TEXTURAL GROUP:		Slightly Gravelly Sand	Sand	Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand
SEDIMENT NAME:		Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Moderately Sorted Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Fine Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_v$ ):	367,7	345,2	377,8	363,8
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_p$ ):	266,0	190,1	202,6	256,3
Arithmetic (mm)	SKEWNESS ( $sk_p$ ):	4,254	2,788	3,253	3,185
	KURTOSIS ( $K_p$ ):	30,88	15,58	23,15	22,52
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	292,9	289,8	321,3	286,4
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,880	1,620	1,551	1,865
Geometric (mm)	SKEWNESS ( $sk_g$ ):	-2,806	-0,533	0,368	-1,609
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	30,90	9,840	3,953	21,05
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_l$ ):	1,727	1,787	1,638	1,776
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_l$ ):	0,738	0,696	0,633	0,793
Logarithmic (f)	SKEWNESS ( $sk_l$ ):	-0,644	0,533	-0,368	-0,666
	KURTOSIS ( $K_l$ ):	4,587	9,840	3,953	3,025
FOLK AND	MEAN ( $M_G$ ):	288,2	282,5	309,1	280,7
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_w$ ):	1,698	1,646	1,621	1,778
(mm)	SKEWNESS ( $sk_w$ ):	-0,032	-0,041	-0,080	0,144
	KURTOSIS ( $K_w$ ):	1,065	0,940	1,224	0,898
FOLK AND	MEAN ( $M_Z$ ):	1,795	1,824	1,694	1,833
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_z$ ):	0,764	0,719	0,697	0,831
(f)	SKEWNESS ( $sk_z$ ):	0,032	0,041	0,080	-0,144
	KURTOSIS ( $K_z$ ):	1,065	0,940	1,224	0,898
FOLK AND	MEAN:	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand
WARD METHOD	SORTING:	Moderately Sorted	Moderately Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	Coarse Skewed
	KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic	Platykurtic
	MODE 1 (mm):	375,0	375,0	375,0	187,5
	MODE 2 (mm):				
	MODE 3 (mm):				
	MODE 1 (f):	1,500	1,500	1,500	2,500
	MODE 2 (f):				
	MODE 3 (f):				
	D <sub>10</sub> (mm):	148,8	149,4	162,4	144,0
	D <sub>50</sub> (mm):	304,5	295,2	325,9	274,1
	D <sub>90</sub> (mm):	502,6	491,9	542,3	679,6
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,377	3,292	3,339	4,719
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	353,7	342,5	379,9	535,6
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,021	2,042	1,761	2,348
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	209,8	207,2	185,5	246,2
	D <sub>10</sub> (f):	0,993	1,024	0,883	0,557
	D <sub>50</sub> (f):	1,716	1,760	1,617	1,867
	D <sub>90</sub> (f):	2,748	2,743	2,622	2,796
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	2,769	2,679	2,970	5,017
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,756	1,719	1,739	2,239
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	1,801	1,792	1,669	2,008
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,015	1,030	0,817	1,232
	% GRAVEL:	0,7%	0,0%	0,04%	0,4%
	% SAND:	99,3%	99,8%	99,96%	99,6%
	% MUD:	0,0%	0,2%	0,00%	0,0%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	0,7%	0,0%	0,0%	0,4%
	% V COARSE SAND:	2,5%	1,0%	1,2%	1,5%
	% COARSE SAND:	6,9%	7,7%	9,9%	14,5%
	% MEDIUM SAND:	55,8%	54,3%	62,9%	38,7%
	% FINE SAND:	32,2%	36,3%	25,6%	43,8%
	% V FINE SAND:	1,9%	0,4%	0,3%	1,1%
	% V COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% V FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	% CLAY:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

CLASSE DE AREIA GROSSEIRA (D1)				
Sample:	FFOZ_9	FFOZ_17	FFOZ_29	
ANALYST AND DATE:	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016	
SIEVING ERROR:	1,4%	0,0%	0,2%	
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	
TEXTURAL GROUP:	Sand	Slightly Gravelly Sand	Slightly Gravelly Sand	
SEDIMENT NAME:	Moderately Sorted Coarse Sand	Slightly Very Fine Gravelly Coarse Sand	Slightly Very Fine Gravelly Coarse Sand	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_a$ ):	671,4	690,1	705,0	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_a$ ):	372,9	540,8	340,9	
Arithmetic (mm) SKEWNESS ( $SK_a$ ):	1,122	2,649	1,546	
KURTOSIS ( $K_a$ ):	3,490	11,42	7,635	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	548,3	503,4	596,4	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,711	2,374	1,604	
Geometric (mm) SKEWNESS ( $SK_g$ ):	0,044	-3,265	-0,205	
KURTOSIS ( $K_g$ ):	2,517	25,99	3,204	
METHOD OF MEAN ( $\bar{x}_\phi$ ):	0,867	0,897	0,746	
MOMENTS SORTING ( $\sigma_\phi$ ):	0,775	0,897	0,681	
Logarithmic (f) SKEWNESS ( $SK_\phi$ ):	-0,044	-0,279	0,205	
KURTOSIS ( $K_\phi$ ):	2,517	3,345	3,204	
FOLK AND MEAN ( $M_G$ ):	540,3	525,0	582,3	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_G$ ):	1,768	1,928	1,668	
(mm) SKEWNESS ( $SK_G$ ):	0,033	-0,018	-0,101	
KURTOSIS ( $K_G$ ):	0,906	1,098	1,021	
FOLK AND MEAN ( $M_2$ ):	0,888	0,930	0,780	
WARD METHOD SORTING ( $\sigma_2$ ):	0,822	0,947	0,738	
(f) SKEWNESS ( $SK_f$ ):	-0,033	0,018	0,101	
KURTOSIS ( $K_C$ ):	0,906	1,098	1,021	
FOLK AND MEAN:	Coarse Sand	Coarse Sand	Coarse Sand	
WARD METHOD SORTING:	Moderately Sorted	Moderately Sorted	Moderately Sorted	
(Description) SKEWNESS:	Symmetrical	Symmetrical	Fine Skewed	
KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	
MODE 1 (mm):	750,0	750,0	750,0	
MODE 2 (mm):				
MODE 3 (mm):				
MODE 1 (f):	0,500	0,500	0,500	
MODE 2 (f):				
MODE 3 (f):				
D <sub>10</sub> (mm):	271,4	251,7	294,7	
D <sub>50</sub> (mm):	548,2	543,2	620,7	
D <sub>90</sub> (mm):	1175,5	1211,0	1027,0	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	4,332	4,812	3,484	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	904,2	959,4	732,2	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,323	2,406	1,986	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	468,9	475,3	416,4	
D <sub>10</sub> (f):	-0,233	-0,276	-0,038	
D <sub>50</sub> (f):	0,867	0,880	0,688	
D <sub>90</sub> (f):	1,882	1,990	1,763	
(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	-8,064	-7,206	-45,905	
(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	2,115	2,267	1,801	
(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	5,334	5,251	4,900	
(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,216	1,266	0,990	
% GRAVEL:	0,0%	4,2%	0,2%	
% SAND:	100,0%	95,8%	99,8%	
% MUD:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE GRAVEL:	0,0%	4,2%	0,2%	
% V COARSE SAND:	13,0%	8,0%	10,2%	
% COARSE SAND:	42,6%	42,9%	57,6%	
% MEDIUM SAND:	39,0%	35,2%	28,9%	
% FINE SAND:	5,4%	9,5%	3,1%	
% V FINE SAND:	0,0%	0,2%	0,0%	
% V COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% V FINE SILT:	0,0%	0,0%	0,0%	
% CLAY:	0,0%	0,0%	0,0%	

CLASSE DE AREIA GROSSEIRA (D2)			
	Sample:	FFOZ_30	FFOZ_36
	ANALYST AND DATE:	Assane Pena, 5/4/2016	Assane Pena, 5/4/2016
	SIEVING ERROR:	0,3%	0,2%
	SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
	TEXTURAL GROUP:	Slightly Gravelly Sand	Gravelly Sand
	SEDIMENT NAME:	Slightly Very Fine Gravelly Coarse Sand	Very Fine Gravelly Coarse Sand
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_a$ ):	678,1	1043,8
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_a$ ):	324,6	602,4
Arithmetic (mm)	SKEWNESS ( $Sk_a$ ):	1,801	1,440
	KURTOSIS ( $K_a$ ):	9,803	5,616
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_g$ ):	577,0	826,2
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_g$ ):	1,577	2,028
Geometric (mm)	SKEWNESS ( $Sk_g$ ):	-0,100	-3,633
	KURTOSIS ( $K_g$ ):	3,171	35,71
METHOD OF	MEAN ( $\bar{x}_\phi$ ):	0,793	0,233
MOMENTS	SORTING ( $\sigma_\phi$ ):	0,657	0,800
Logarithmic (f)	SKEWNESS ( $Sk_\phi$ ):	0,100	0,143
	KURTOSIS ( $K_\phi$ ):	3,171	3,027
FOLK AND	MEAN ( $M_G$ ):	565,9	881,2
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_G$ ):	1,641	1,776
(mm)	SKEWNESS ( $Sk_G$ ):	-0,097	0,018
	KURTOSIS ( $K_G$ ):	0,939	0,952
FOLK AND	MEAN ( $M_Z$ ):	0,821	0,183
WARD METHOD	SORTING ( $\sigma_Z$ ):	0,715	0,828
(f)	SKEWNESS ( $Sk_Z$ ):	0,097	-0,018
	KURTOSIS ( $K_Z$ ):	0,939	0,952
FOLK AND	MEAN:	Coarse Sand	Coarse Sand
WARD METHOD	SORTING:	Moderately Sorted	Moderately Sorted
(Description)	SKEWNESS:	Symmetrical	Symmetrical
	KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic
	MODE 1 (mm):	750,0	750,0
	MODE 2 (mm):		
	MODE 3 (mm):		
	MODE 1 (f):	0,500	0,500
	MODE 2 (f):		
	MODE 3 (f):		
	D <sub>10</sub> (mm):	292,8	390,3
	D <sub>50</sub> (mm):	599,5	842,7
	D <sub>90</sub> (mm):	977,9	1805,8
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (mm):	3,340	4,627
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (mm):	685,1	1415,6
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (mm):	2,021	2,273
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (mm):	411,2	740,5
	D <sub>10</sub> (f):	0,032	-0,853
	D <sub>50</sub> (f):	0,738	0,247
	D <sub>90</sub> (f):	1,772	1,357
	(D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ) (f):	55,01	-1,592
	(D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ) (f):	1,740	2,210
	(D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ) (f):	4,418	-1,938
	(D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ) (f):	1,015	1,184
	% GRAVEL:	0,2%	5,1%
	% SAND:	99,8%	94,9%
	% MUD:	0,0%	0,0%
	% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%
	% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0,0%	0,0%
	% FINE GRAVEL:	0,0%	0,0%
	% V FINE GRAVEL:	0,2%	5,1%
	% V COARSE SAND:	7,9%	33,4%
	% COARSE SAND:	56,7%	46,8%
	% MEDIUM SAND:	32,6%	13,3%
	% FINE SAND:	2,6%	1,4%
	% V FINE SAND:	0,0%	0,0%
	% V COARSE SILT:	0,0%	0,0%
	% COARSE SILT:	0,0%	0,0%
	% MEDIUM SILT:	0,0%	0,0%
	% FINE SILT:	0,0%	0,0%
	% V FINE SILT:	0,0%	0,0%
	% CLAY:	0,0%	0,0%

Apêndice 2. Tabela de coordenadas de pontos amostrais e densidades

<b>Amostra</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Densidade</b>
<b>FF1</b>	510508,3906	4441700,098	1,70
<b>FF2</b>	510602,7155	4441946,88	1,63
<b>FF3</b>	510588,2829	4442147,079	1,61
<b>FF4</b>	509963,2663	4442285,157	1,61
<b>FF5</b>	510436,4957	4442347,457	1,76
<b>FF6</b>	510602,1544	4442347,687	1,61
<b>FF7</b>	510388,784	4442624,874	1,61
<b>FF8</b>	510601,3343	4442933,483	1,61
<b>FF9</b>	510411,2192	4443519,016	1,63
<b>FF10</b>	510200,7539	4441668,846	1,63
<b>FF11</b>	509767,8461	4445320,012	1,61
<b>FF12</b>	510069,9949	4445347,417	1,63
<b>FF13</b>	509762,1527	4445112,262	1,62
<b>FF14</b>	509678,2957	4444533,509	1,66
<b>FF15</b>	510118,2428	4444506,151	1,63
<b>FF16</b>	510397,3063	4444517,813	1,62
<b>FF17</b>	510406,3988	4444202,605	1,61
<b>FF18</b>	510097,1801	4444120,791	1,63
<b>FF19</b>	509758,4847	4444104,068	1,64
<b>FF20</b>	509742,9531	4443928,493	1,66
<b>FF21</b>	510123,8587	4443915,859	1,65
<b>FF22</b>	510376,2123	4443917,126	1,61
<b>FF23</b>	509749,2913	4443526,521	1,62
<b>FF24</b>	510006,2464	4443536,291	1,61
<b>FF25</b>	510187,9691	4443536,533	1,62
<b>FF26</b>	510601,4134	4443519,157	1,65
<b>FF27</b>	510614,2751	4443324,382	1,61
<b>FF28</b>	509988,6169	4443124,853	1,67
<b>FF29</b>	510553,4378	4442900,303	1,61
<b>FF30</b>	510395,623	4442952,437	1,61
<b>FF31</b>	510971,1085	4442734,407	1,62
<b>FF32</b>	510699,383	4442407,329	1,62
<b>FF33</b>	509737,9854	4442713,482	1,63
<b>FF34</b>	510112,7431	4441927,773	1,62
<b>FF35</b>	510969,7847	4441883,829	1,61
<b>FF36</b>	510934,2028	4441841,785	1,62

### Apêndice 3

Tabela de pontos amostrais e profundidades

Amostra	X	Y	Z
FF1	510508,3906	4441700,098	-10,511597
FF3	510588,2829	4442147,079	-9,646013
FF5	510436,4957	4442347,457	-10,464782
FF13	509762,1527	4445112,262	-9,115761
FF14	509678,2957	4444533,509	-10,754438
FF15	510118,2428	4444506,151	-8,657453
FF18	510097,1801	4444120,791	-9,142313
FF19	509758,4847	4444104,068	-10,962014
FF20	509742,9531	4443928,493	-11,089302
FF23	509749,2913	4443526,521	-11,692697
FF24	510006,2464	4443536,291	-9,606947
FF28	509988,6169	4443124,853	-11,555383
FF33	509737,9854	4442713,482	-11,459009
FF34	510112,7431	4441927,773	-11,467744

### Apêndice 4

Resultados de análise mineralógicas

Amostras	Quartzo	Feldspato K	Plagioclase	Calcite	Dolomite	Halite	Siderite	Filossilicatos	Anidrite	Magnetite	Hematite	Pirite
FF1	48,0	10,5	7,4	2,9	0,0	1,0	1,2	28,9	0,0	0,0	0,0	0,0
FF23	54,7	4,1	3,3	4,4	0,0	0,7	0,6	32,2	0,0	0,0	0,0	0,0
FF24	54,7	11,9	11,9	5,6	0,0	0,9	2,8	0,7	0,0	0,0	0,9	0,0
FF34	44,4	10,5	16,1	4,1	0,0	0,5	0,0	22,7	1,3	0,0	0,0	0,4
FF14	48,8	7,3	5,9	6,3	0,0	0,6	0,0	28,2	2,1	0,0	0,0	0,8
FF18	49,9	9,7	10,6	1,8	0,0	4,0	1,2	20,6	1,2	0,0	0,0	1,2
FF3	51,8	7,2	13,9	1,8	3,1	2,4	0,0	13,4	1,0	1,4	0,0	4,0
FF5	65,2	2,3	3,0	4,0	0,0	0,5	0,7	23,3	1,1	0,0	0,0	0,1
FF15	53,5	10,3	18,2	2,1	0,0	0,4	0,0	13,4	1,7	0,4	0,0	0,0
FF19	54,7	6,4	7,5	2,3	0,0	1,3	0,0	26,3	1,5	0,0	0,0	0,0
FF28	59,5	5,2	8,2	3,6	0,0	0,3	0,2	20,6	2,1	0,0	0,0	0,3
FF20	70,0	2,9	9,6	2,1	0,0	0,0	1,1	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0
FF13	46,4	10,7	18,6	0,9	0,0	2,3	0,0	19,3	1,2	0,6	0,0	0,0
FF33	54,7	7,6	9,5	1,9	0,0	0,6	2,4	22,1	1,3	0,0	0,0	0,0

## Apêndice 4 (Cont.)

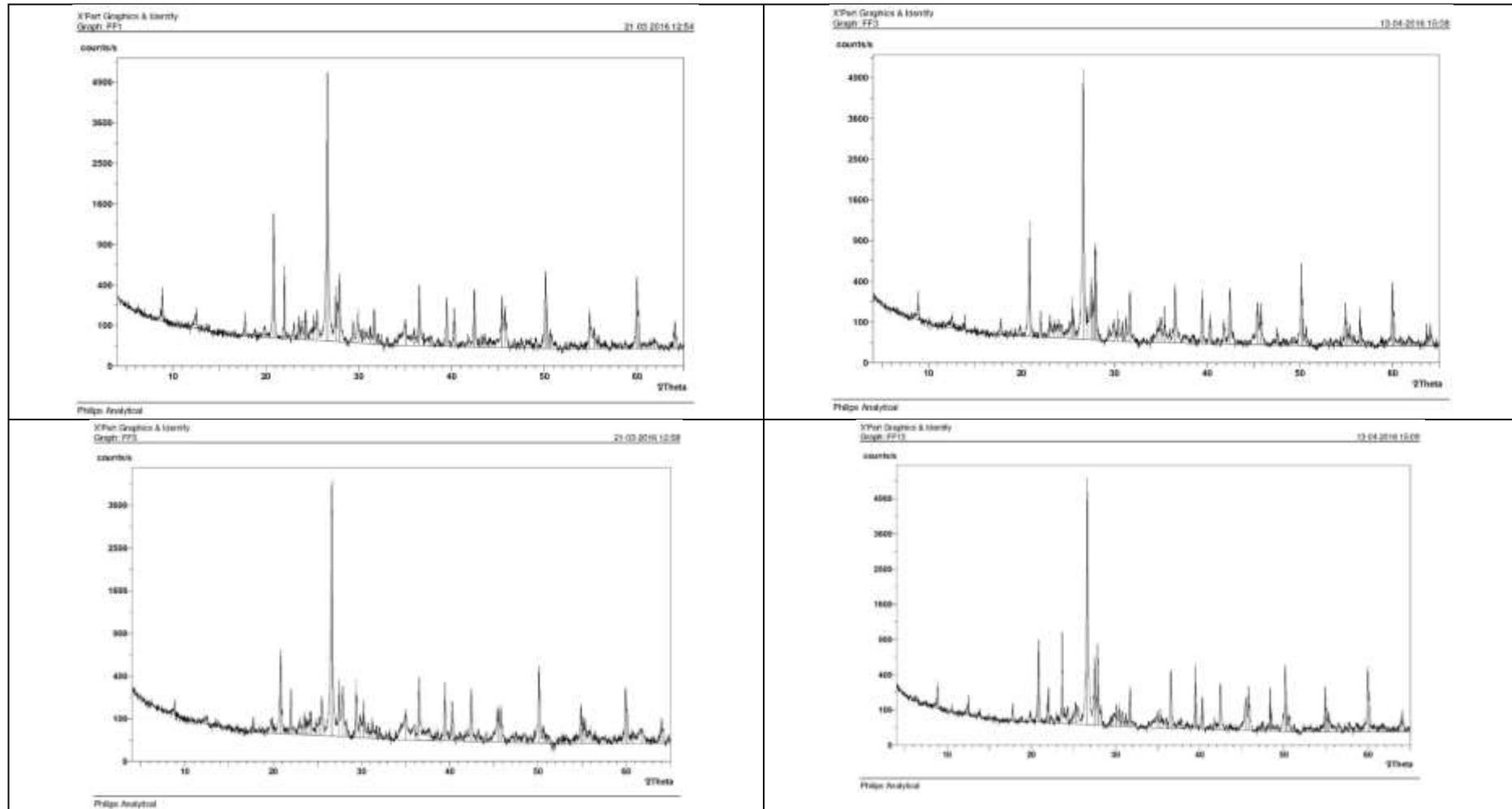


Ilustração: difractogramas de Raios-X da fração sedimentar <math><63 \mu\text{m}</math> das amostras de sedimentar da embocadura do Porto da Figueira de Foz.

## Apêndice 4 (Cont.)

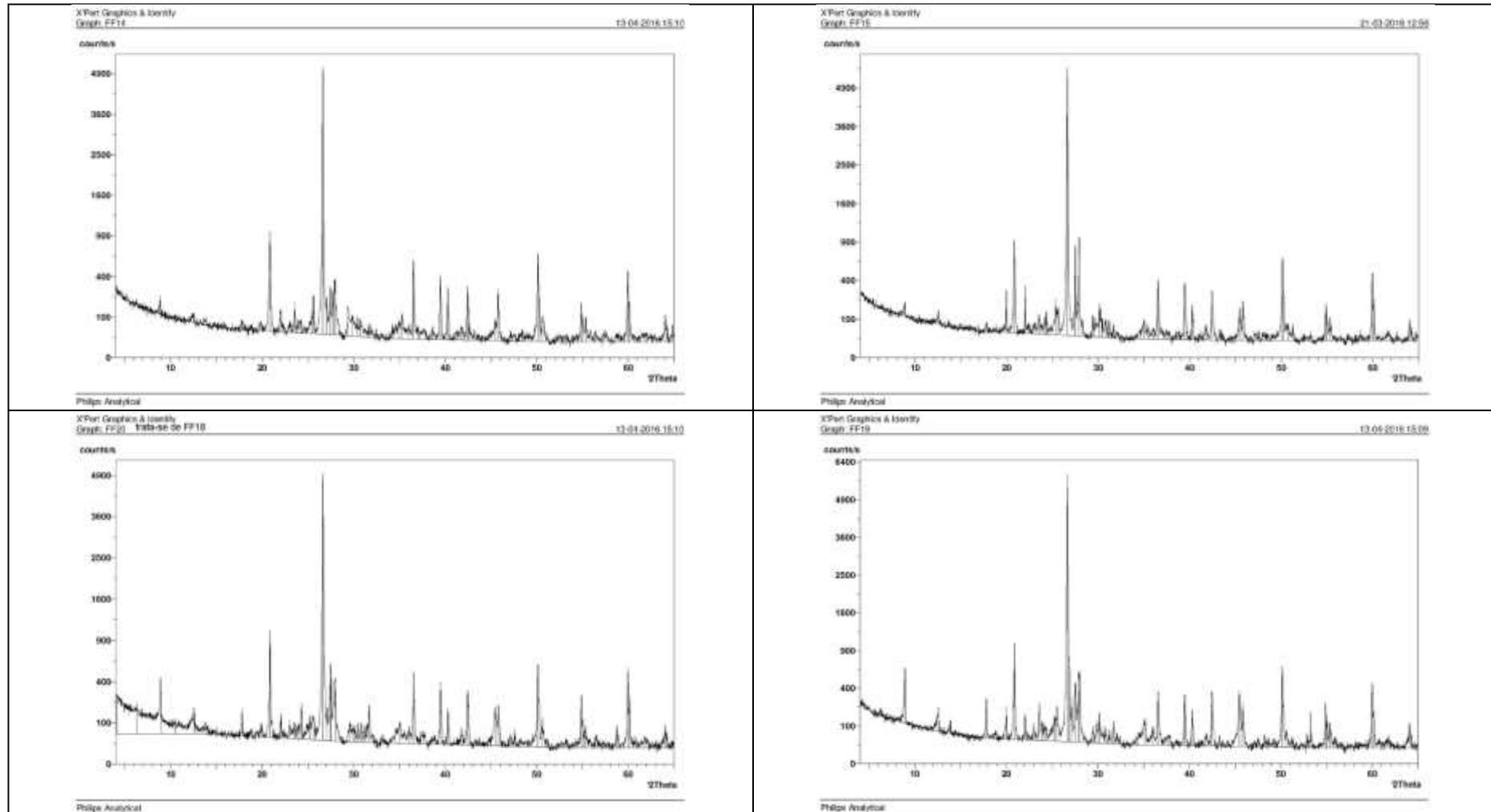


Ilustração: difractogramas de Raios-X da fração sedimentar  $<63 \mu\text{m}$  das amostras de sedimentar da embocadura do Porto da Figueira de Foz.

Apêndice 4 (Cont.)

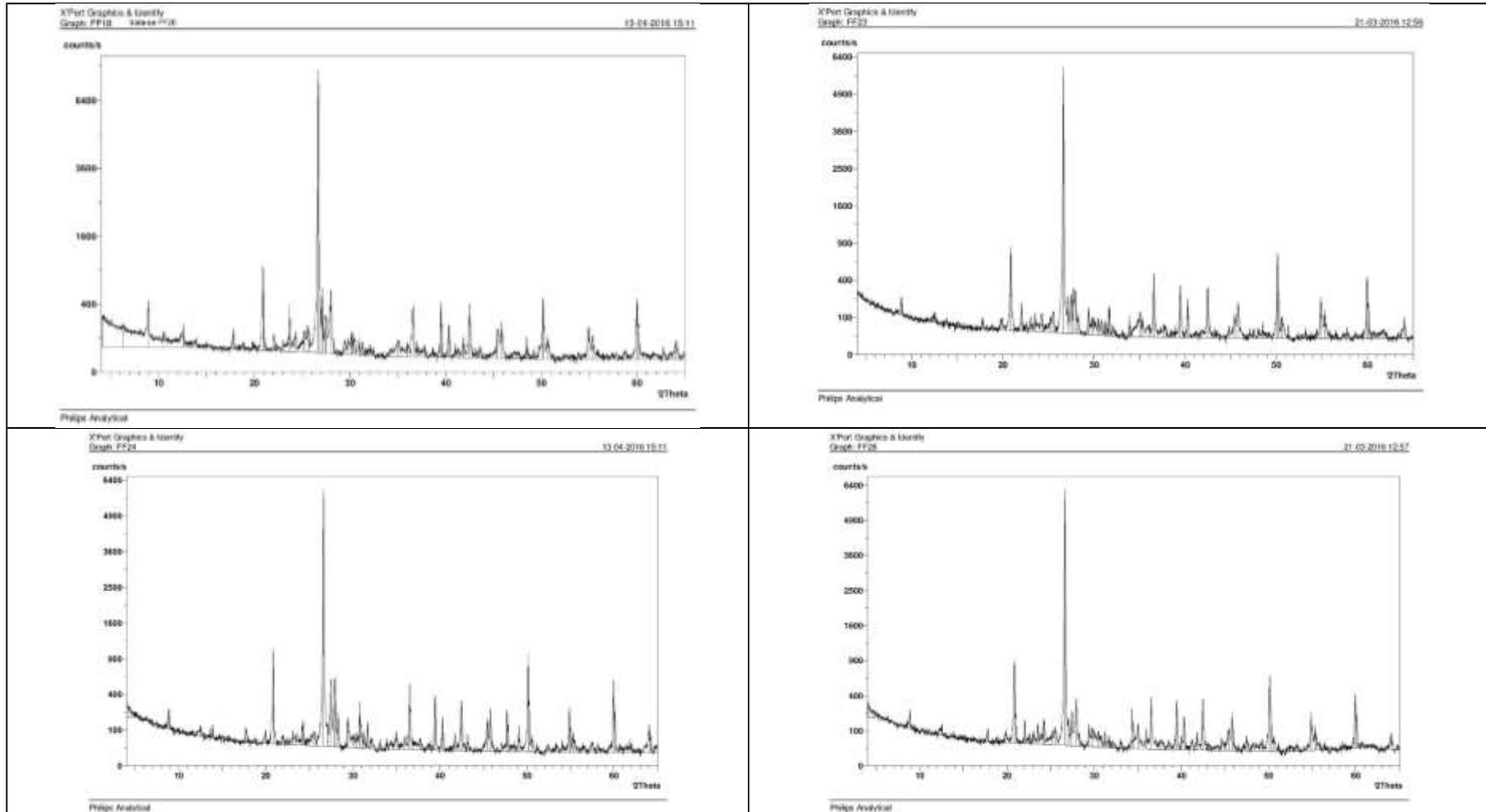


Ilustração: difractogramas de Raios-X da fração sedimentar <63 µm das amostras de sedimentar da embocadura do Porto da Figueira de Foz.

Apêndice 4 (Cont.)

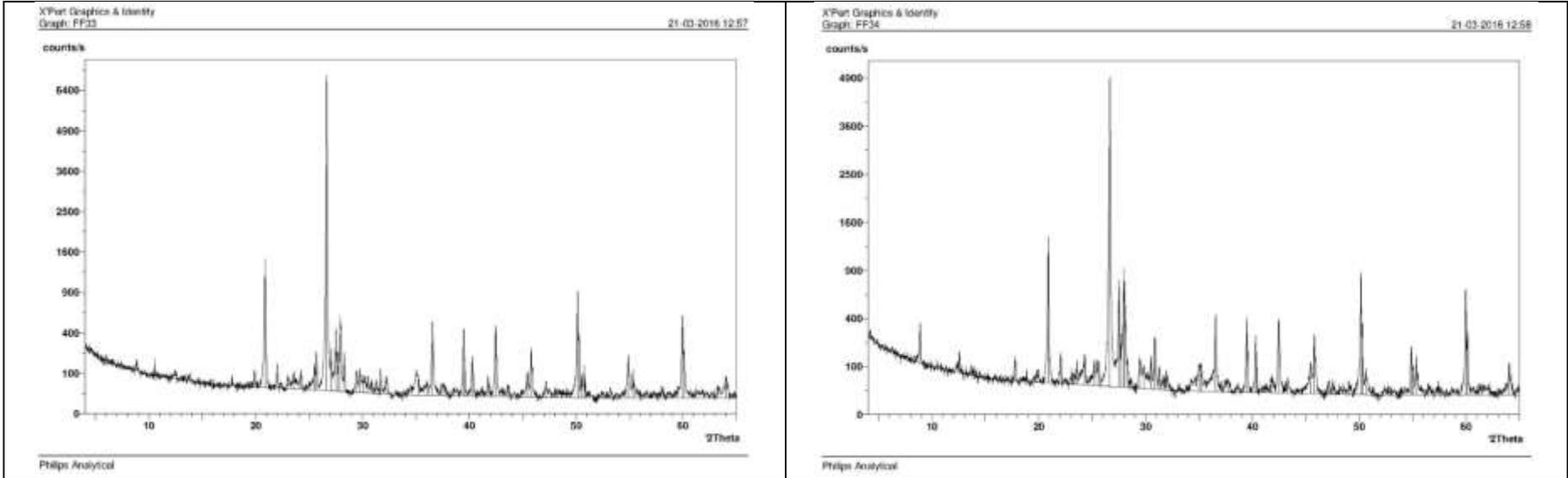


Ilustração: difractogramas de Raios-X da fração sedimentar <63 µm das amostras de sedimentar da embocadura do Porto da Figueira de Foz.

Apêndice 4 (Cont.)

Tabelas de semiquantificação dos minerais obtidos da fração sedimentar <63 µm dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz

FF1						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,5	9,3	4,85	2,33	48,27
Flds K	1	0,3	1,7	0,51	0,51	10,15
Plag	1	0,3	1,2	0,38	0,38	7,18
Calc	1	0,2	0,7	0,14	0,14	2,79
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,2	0,5	0,10	0,06	1,00
Sid	1	0,2	0,3	0,06	0,06	1,19
Fis	0,2	0,4	0,7	0,28	1,40	27,86
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,3	0,9	0,27	0,18	3,58
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1			0,00	0,00	0,00
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					5,03	100,00

FF3						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,7	9,9	6,93	3,47	51,78
Flds K	1	0,3	1,6	0,48	0,48	7,17
Plag	1	0,3	3,1	0,93	0,93	13,89
Calc	1	0,3	0,4	0,12	0,12	1,79
Dolom	1	0,3	0,7	0,21	0,21	3,14
Halite	2	0,4	0,8	0,32	0,18	2,39
Sid	1			0,00	0,00	0,00
Fis	0,2	0,3	0,6	0,18	0,90	13,44
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,1	1	0,10	0,07	1,00
Magnetite	1,3	0,3	0,4	0,12	0,09	1,38
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1	0,3	0,9	0,27	0,27	4,03
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					6,59	100

FF5						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,6	9,8	5,88	9,80	65,16
Flds K	1	0,2	1,7	0,34	0,34	2,26
Plag	1	0,3	1,5	0,45	0,45	2,99
Calc	1	0,3	2	0,60	0,60	3,99
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,2	0,7	0,14	0,07	0,47
Sid	1	0,2	0,5	0,10	0,10	0,66
Fis	0,2	0,7	1	0,70	3,50	23,27
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,2	1,2	0,24	0,18	1,06
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1	0,1	0,2	0,02	0,02	0,13
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					15,04	100

FF13						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,6	10	6,00	3,00	46,38
Flds K	1	0,3	2,3	0,69	0,69	10,67
Plag	1	0,4	3	1,20	1,20	18,55
Calc	1	0,2	0,3	0,06	0,06	0,93
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,2	1,5	0,30	0,15	2,32
Sid	1			0,00	0,00	0,00
Fis	0,2	0,5	0,5	0,25	1,25	19,32
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,2	0,6	0,12	0,08	1,24
Magnetite	1,3	0,1	0,5	0,05	0,04	0,59
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1			0,00	0,00	0,00
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					6,47	100

FF14						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,7	9,9	6,93	3,47	48,79
Flds K	1	0,4	1,3	0,52	0,52	7,32
Plag	1	0,3	1,4	0,42	0,42	5,91
Calc	1	0,5	0,9	0,45	0,45	6,34
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,2	0,4	0,08	0,04	0,56
Sid	1			0,00	0,00	0,00
Fis	0,2	0,5	0,8	0,40	2,00	28,16
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,2	1,1	0,22	0,15	2,07
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1	0,2	0,3	0,06	0,06	0,84
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					7,10	100

FF15						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,6	10	6,00	3,00	53,51
Flds K	1	0,2	2,9	0,58	0,58	10,35
Plag	1	0,3	3,4	1,02	1,02	18,19
Calc	1	0,2	0,6	0,12	0,12	2,14
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,1	0,4	0,04	0,02	0,36
Sid	1			0,00	0,00	0,00
Fis	0,2	0,3	0,5	0,15	0,75	13,38
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,2	0,7	0,14	0,09	1,66
Magnetite	1,3	0,1	0,3	0,03	0,02	0,41
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1			0,00	0,00	0,00
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					5,61	100

FF18						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,7	9,7	6,79	3,40	49,89
Flds K	1	0,3	2,2	0,66	0,66	9,70
Plag	1	0,4	1,8	0,72	0,72	10,58
Calc	1	0,3	0,4	0,12	0,12	1,76
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,3	1,8	0,54	0,27	3,97
Sid	1	0,2	0,4	0,08	0,08	1,18
Fis	0,2	0,4	0,7	0,28	1,40	20,57
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,2	0,6	0,12	0,08	1,18
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1	0,2	0,4	0,08	0,08	1,18
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					6,81	100

FF19						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,6	9,7	5,82	2,91	54,70
Flds K	1	0,2	1,7	0,34	0,34	6,39
Plag	1	0,2	2	0,40	0,40	7,52
Calc	1	0,3	0,4	0,12	0,12	2,28
Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,2	0,7	0,14	0,07	1,32
Sid	1			0,00	0,00	0,00
Fis	0,2	0,4	0,7	0,28	1,40	26,32
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilios	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,3	0,4	0,12	0,08	1,50
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1			0,00	0,00	0,00
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somat6rio					5,32	100

Apêndice 4 (Cont.)

Tabela de semiquantificação dos minerais obtidos da fração sedimentar <63 µm dos sedimentos da embocadura do Porto da Figueira da Foz

FF20							FF23							FF24							FF28						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida	Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida	Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida	Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)						Largura (L)	Alt. (H)						Largura (L)	Alt. (H)						Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,8	9,8	7,84	3,92	70,00	Qtz	2	0,6	9,9	5,94	2,97	54,70	Qtz	2	0,6	9,7	5,82	2,91	54,74	Qtz	2	0,7	9,9	6,93	3,47	59,54
Fids K	1	0,2	0,8	0,16	0,16	2,88	Fids K	1	0,2	1,1	0,22	0,22	4,05	Fids K	1	0,3	2,1	0,63	0,63	11,85	Fids K	1	0,3	1	0,30	0,30	5,15
Plag	1	0,3	1,8	0,54	0,54	9,84	Plag	1	0,2	0,9	0,18	0,18	3,31	Plag	1	0,3	2,1	0,63	0,63	11,85	Plag	1	0,3	1,6	0,48	0,48	8,25
Calc	1	0,3	0,4	0,12	0,12	2,14	Calc	1	0,3	0,8	0,24	0,24	4,42	Calc	1	0,3	1	0,30	0,30	5,64	Calc	1	0,3	0,7	0,21	0,21	3,61
Dolom	1			0,00	0,00	0,00	Dolom	1			0,00	0,00	0,00	Dolom	1			0,00	0,00	0,00	Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2			0,00	0,00	0,00	Halite	2	0,2	0,4	0,08	0,04	0,74	Halite	2	0,1	1	0,10	0,05	0,94	Halite	2	0,1	0,3	0,03	0,02	0,26
Sid	1	0,2	0,3	0,06	0,06	1,07	Sid	1	0,1	0,3	0,03	0,03	0,55	Sid	1	0,5	0,3	0,15	0,15	2,82	Sid	1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,17
Fis	0,2	0,4	0,4	0,16	0,80	14,29	Fis	0,2	0,5	0,7	0,35	1,75	32,23	Fis	0,2	0,2	0,6	0,12	0,60	0,70	Fis	0,2	0,4	0,6	0,24	1,20	20,62
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00	Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00	Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00	Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00	Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00	Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00	Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilites	0,8			0,00	0,00	0,00	Zedilites	0,8			0,00	0,00	0,00	Zedilites	0,8			0,00	0,00	0,00	Zedilites	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00	Anat	1			0,00	0,00	0,00	Anat	1			0,00	0,00	0,00	Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5			0,00	0,00	0,00	Anid	1,5			0,00	0,00	0,00	Anid	1,5			0,00	0,00	0,00	Anid	1,5	0,3	0,6	0,18	0,12	2,06
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00	Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00	Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00	Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3	0		0,00	0,00	0,00	Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00	Hematite	1,3	0,2	0,3	0,06	0,05	0,87	Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1			0,00	0,00	0,00	Pyr	1			0,00	0,00	0,00	Pyr	1			0,00	0,00	0,00	Pyr	1	0,1	0,2	0,02	0,02	0,34
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00	Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00	Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00	Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somatório					5,60	100	Somatório					5,43	100	Somatório					5,32	100	Somatório					5,82	100,00

FF28							FF33						
Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida	Mineral	Poder Reflector	Área lida		Área lida	Área Corrigida	%Área Corrigida
		Largura (L)	Alt. (H)						Largura (L)	Alt. (H)			
Qtz	2	0,7	9,9	6,93	3,47	59,54	Qtz	2	0,7	9,9	6,93	3,47	54,74
Fids K	1	0,3	1	0,30	0,30	5,15	Fids K	1	0,3	1,6	0,48	0,48	7,58
Plag	1	0,3	1,6	0,48	0,48	8,25	Plag	1	0,3	2	0,60	0,60	9,48
Calc	1	0,3	0,7	0,21	0,21	3,61	Calc	1	0,2	0,6	0,12	0,12	1,90
Dolom	1			0,00	0,00	0,00	Dolom	1			0,00	0,00	0,00
Halite	2	0,1	0,3	0,03	0,02	0,26	Halite	2	0,1	0,7	0,07	0,04	0,55
Sid	1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,17	Sid	1	0,3	0,5	0,15	0,15	2,37
Fis	0,2	0,4	0,6	0,24	1,20	20,62	Fis	0,2	0,4	0,7	0,28	1,40	22,12
Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00	Opl C/CT	0,5			0,00	0,00	0,00
Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00	Goethite	0,8			0,00	0,00	0,00
Zedilites	0,8			0,00	0,00	0,00	Zedilites	0,8			0,00	0,00	0,00
Anat	1			0,00	0,00	0,00	Anat	1			0,00	0,00	0,00
Anid	1,5	0,3	0,6	0,18	0,12	2,06	Anid	1,5	0,2	0,6	0,12	0,08	1,26
Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00	Magnetite	1,3			0,00	0,00	0,00
Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00	Hematite	1,3			0,00	0,00	0,00
Pyr	1	0,1	0,2	0,02	0,02	0,34	Pyr	1			0,00	0,00	0,00
Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00	Alunites	1,1			0,00	0,00	0,00
Somatório					5,82	100,00	Somatório					6,33	100

## Apêndice 5. Resultados de análises geoquímicas

### Apêndice 5.1. Tabela de resultados de análise de matéria orgânica total (MOT) e carbonatos

Amostra	M. recipiente_C(g)	M da amostra_M(g)	C+M= D(g)	M. após + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%)= E(g)	D-E= F(g)	% MOT	% Escala_MOT	Teores_MOT	M. após + HCl (10%)(g)	E-H = I(g)	% Carbonatos_SC	% Carbonatos	Classificação_carb
FF1	99,6	10,0095	109,6095	109,467	0,1425	1,42	1,01-2,00	Baixo	109,1363	0,3307	3,30	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF2	96,8	10,0521	106,8521	106,6293	0,2228	2,22	2,01-7,00	Médio	106,5003	0,129	1,28	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF3	96,7	10,0252	106,7252	106,5789	0,1463	1,46	1,01-2,00	Baixo	106,3601	0,2188	2,18	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF4	98,7	10,0237	108,7237	108,4983	0,2254	2,25	2,01-7,00	Médio	108,2703	0,228	2,27	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF5	91,4	10,086	101,486	100,1927	1,2933	12,82	7,01-12,82	Alto	99,568	0,6247	6,19	5,01 - 7,03	Moderadamente carbonatado
FF6	99,7	9,8771	109,5771	109,1817	0,3954	4,00	2,01-7,00	Médio	108,8705	0,3112	3,15	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF7	120,4	10,0631	130,4631	130,206	0,2571	2,55	2,01-7,00	Médio	130,0143	0,1917	1,90	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF8	99,8	10,0933	109,8933	109,5951	0,2982	2,95	2,01-7,00	Médio	109,4149	0,1802	1,79	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF9	107,9	10,0673	117,9673	117,643	0,3243	3,22	2,01-7,00	Médio	117,3327	0,3103	3,08	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF10	96,9	10,0562	106,9562	106,8152	0,141	1,40	1,01-2,00	Baixo	106,6126	0,2026	2,01	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF11	99,3	10,0581	109,3581	108,9919	0,3662	3,64	2,01-7,00	Médio	108,8278	0,1641	1,63	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF12	98,7	10,0547	108,7547	108,513	0,2417	2,40	2,01-7,00	Médio	108,3137	0,1993	1,98	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF13	89,2	10,0214	99,2214	99,0328	0,1886	1,88	1,01-2,00	Baixo	98,6018	0,431	4,30	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF14	98,1	10,901	109,001	108,1082	0,8928	8,19	7,01-12,82	Alto	107,6994	0,4088	3,75	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF15	97,7	10,0284	107,7284	107,4144	0,314	3,13	2,01-7,00	Médio	106,9616	0,4528	4,52	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF16	97,4	10,0675	107,4675	107,3186	0,1489	1,48	1,01-2,00	Baixo	107,0393	0,2793	2,77	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF17	99,5	10,059	109,559	109,4229	0,1361	1,35	1,01-2,00	Baixo	109,0951	0,3278	3,26	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF18	98,1	10,0911	108,1911	107,9353	0,2558	2,53	2,0 - 7,00	Médio	107,4908	0,4445	4,40	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF19	95,1	10,0616	105,1616	104,6338	0,5278	5,25	2,01-7,00	Médio	103,9804	0,6534	6,49	5,01 - 7,03	Moderadamente carbonatado
FF20	98,9	10,0132	108,9132	108,0536	0,8596	8,58	7,01-12,82	Alto	107,6641	0,3895	3,89	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF21	95	10,0983	105,0983	104,5691	0,5292	5,24	2,01-7,00	Médio	103,9761	0,593	5,87	5,01 - 7,03	Moderadamente carbonatado
FF22	97,9	10,0556	107,9556	107,7892	0,1664	1,65	1,01-2,00	Baixo	107,503	0,2862	2,85	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF23	139,1	10,2509	149,3509	149,2596	0,0913	0,89	0,89-1,00	Muito baixo	148,5389	0,7207	7,03	5,01 - 7,03	Moderadamente carbonatado
FF24	97,1	10,089	107,189	106,9531	0,2359	2,34	2,01-7,00	Médio	106,5878	0,3653	3,62	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF25	89,6	10,0184	99,6184	99,3445	0,2739	2,73	2,01-7,00	Médio	99,1469	0,1976	1,97	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF26	99,8	10,0747	109,8747	109,5678	0,3069	3,05	2,01-7,00	Médio	109,2431	0,3247	3,22	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF27	96	10,0265	106,0265	105,6473	0,3792	3,78	2,01-7,00	Médio	105,3972	0,2501	2,49	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF28	99,7	10,0071	109,7071	109,0286	0,6785	6,78	2,01-7,00	Médio	108,3605	0,6681	6,68	5,01 - 7,03	Moderadamente carbonatado
FF29	99,1	10,0777	109,1777	109,0174	0,1603	1,59	1,01-2,00	Baixo	108,7478	0,2696	2,68	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF30	88,3	10,0371	98,3371	98,1535	0,1836	1,83	1,01-2,00	Baixo	97,8912	0,2623	2,61	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF31	98,7	10,0951	108,7951	108,5637	0,2314	2,29	2,01-7,00	Médio	108,4022	0,1615	1,60	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF32	95,3	10,0405	105,3405	105,1465	0,194	1,93	1,01-2,00	Baixo	105,0073	0,1392	1,39	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado
FF33	92,2	15,4759	107,6759	107,3335	0,3424	2,21	2,01-7,00	Médio	106,8296	0,5039	3,26	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF34	94,9	40,0758	134,9758	133,7052	1,2706	3,17	2,01-7,00	Médio	132,7994	0,9058	2,26	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF35	96,5	40,0236	136,5236	135,661	0,8626	2,16	2,01-7,00	Médio	134,8505	0,8105	2,03	2,01 - 5,00	Pouco carbonatado
FF36	95,8	40,0432	135,8432	135,3853	0,4579	1,14	1,01-2,00	Baixo	134,9048	0,4805	1,20	1,20 - 2,00	Pobrememente carbonatado

Apêndice 5.2. Tabela de resultados de elementos maiores (mg/kg)

Amostras	X (m)	Y (m)	Z (m)	Class_sedim	23 Na [ He ]	24 Mg [ He ]	27 Al [ He ]	39 K [ He ]	44 Ca [ He ]	56 Fe [ He ]
					mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
FF1	510508,3906	4441700,098	-10,511597	Areia muito Fina	20688,21	6488,61	10729,71	2768,17	19547,40	13109,75
FF3	510588,2829	4442147,079	-9,646013	Areia fina	20615,16	7979,25	9351,64	3046,70	13748,25	12802,60
FF5	510436,4957	4442347,457	-10,464782	Areia muito Fina	3146,51	6183,73	12205,39	3178,97	19302,26	16107,99
FF13	509762,1527	4445112,262	-9,115761	Areia média	25896,23	6531,68	7692,73	2484,42	10052,07	9537,25
FF14	509678,2957	4444533,509	-10,754438	Areia fina	844,29	3864,94	7396,25	1687,16	9596,57	9148,95
FF15	510118,2428	4444506,151	-8,657453	Areia fina	2213,88	4219,04	6487,33	1663,22	16937,75	8468,31
FF18	510097,1801	4444120,791	-9,142313	Areia fina	13752,92	5303,66	8541,92	2538,79	11970,70	10550,48
FF19	509758,4847	4444104,068	-10,962014	Areia muito Fina	3142,66	6150,00	9848,12	2465,60	11854,55	12257,85
FF20	509742,9531	4443928,493	-11,089302	Areia muito Fina	115,85	5136,78	9395,00	2199,67	12182,44	11708,85
FF23	509749,2913	4443526,521	-11,692697	Areia fina	3544,67	5271,41	8921,62	2182,92	16996,32	11048,79
FF24	510006,2464	4443536,291	-9,606947	Areia fina	6150,25	3637,29	5361,69	1347,92	21631,99	7510,55
FF28	509988,6169	4443124,853	-11,555383	Areia fina	2225,58	4839,51	9302,02	2299,19	17894,13	11361,86
FF33	509737,9854	4442713,482	-11,459009	Areia fina	2840,43	3215,70	5208,54	1150,60	17813,76	7016,52
FF34	510112,7431	4441927,773	-11,467744	Areia fina	2005,39	3959,10	6529,03	1451,99	17552,71	8084,55

Apêndice 5.2. Tabela de resultados de elementos-traço (mg/kg)

Amostras	X (m)	Y (m)	Z (m)	Class_sedim (µm)	9 Be [ He ]	51 V [ He ]	52 Cr [ He ]	55 Mn [ He ]	59 Co [ He ]	60 Ni [ He ]	63 Cu [ He ]	66 Zn [ He ]	75 As [ He ]	98 Mo [ He ]	107 Ag [ He ]	114 Cd [ He ]	135 Ba [ He ]	205 Tl [ He ]	208 Pb [ He ]	238 U [ He ]
					mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
FF1	510508,3906	4441700,098	-10,511597	Areia muito Fina	<1.68	16,41	21,53	127,45	4,04	14,96	13,11	82,99	8,79	1,14	0,11	5,59	22,71	0,22	12,76	1,25
FF3	510588,2829	4442147,079	-9,646013	Areia fina	<1.55	15,41	28,05	138,88	3,98	16,97	13,14	71,64	10,16	0,99	0,18	2,99	27,51	0,12	13,69	2,06
FF5	510436,4957	4442347,457	-10,464782	Areia muito Fina	<1.58	21,15	22,41	152,48	4,82	15,39	9,75	78,03	12,86	1,02	0,07	0,19	25,84	0,21	14,26	1,22
FF13	509762,1527	4445112,262	-9,115761	Areia média	<1.76	11,74	14,82	97,61	3,02	10,92	6,51	46,13	9,89	1,02	0,09	6,14	19,68	0,08	10,31	1,71
FF14	509678,2957	4444533,509	-10,754438	Areia fina	<1.37	11,12	13,39	93,85	2,85	9,34	5,17	44,12	7,79	0,66	0,05	2,78	19,07	0,09	7,70	1,36
FF15	510118,2428	4444506,151	-8,657453	Areia fina	<1.69	10,67	12,72	84,33	2,61	9,13	4,97	39,14	9,44	0,84	0,04	1,35	16,46	0,05	7,00	1,08
FF18	510097,1801	4444120,791	-9,142313	Areia fina	<1.22	13,56	17,60	112,10	3,40	11,63	6,53	57,71	10,64	0,67	0,04	11,48	20,11	0,11	9,44	1,23
FF19	509758,4847	4444104,068	-10,962014	Areia muito Fina	<1.12	15,08	18,79	120,26	3,85	12,73	7,36	60,71	9,37	0,62	0,10	2,20	22,47	0,16	9,84	1,37
FF20	509742,9531	4443928,493	-11,089302	Areia muito Fina	<1.1	15,29	23,71	120,57	3,67	12,65	7,78	60,05	9,69	0,81	0,05	1,43	21,55	0,16	9,32	1,35
FF23	509749,2913	4443526,521	-11,692697	Areia fina	<1.29	13,88	16,49	108,69	3,47	11,93	6,51	52,49	9,95	0,73	0,06	1,24	18,46	0,11	10,29	1,29
FF24	510006,2464	4443536,291	-9,606947	Areia fina	<1.19	9,82	11,83	80,09	2,30	8,52	4,94	35,17	7,78	0,65	0,03	6,80	17,29	0,04	8,05	1,62
FF28	509988,6169	4443124,853	-11,555383	Areia fina	<1.13	14,54	16,88	114,53	3,53	11,47	6,82	56,68	9,23	0,62	0,04	0,83	20,10	0,14	10,15	1,22
FF33	509737,9854	4442713,482	-11,459009	Areia fina	<1.09	9,17	11,56	73,69	2,13	8,26	4,86	32,86	8,47	0,60	0,04	5,33	12,21	0,04	8,26	1,74
FF34	510112,7431	4441927,773	-11,467744	Areia fina	<1.18	10,65	12,64	89,45	2,44	8,67	5,08	39,43	8,87	0,57	0,07	0,57	16,42	0,06	8,40	1,95